NEUROLOGISCHE ASPEKTE IN DER RAUMFAHRTMEDIZIN

Hans-Günther Wiechert

1980

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41535726_0011

Aus der Neurologischen Klinik der Universität München

Direktor: Prof.Dr.med. Adolf Schrader

Neurologische Aspekte in der Raumfahrtmedizin

Inaugural - Dissertation

zur Erlangung der Doktorwürde in der gesamten Medizin

an der Ludwig Maximilians - Universität zu München

vorgelegt von

Hans-Günther Wiechert

aus

Rosenheim

Jahr

1980

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät der Universität München

Berichterstatter: Prof.Dr.med. Frieder Lâhoda

Mitberichterstatter: Prof.Dr.med. Adolf Schrader

Dekan: Prof.Dr.med. Wolfgang Spann

Tag der mündlichen Prüfung: 14.11.1980

UNIV. LEIDEN BIBL.

An dieser Stelle möchte ich Herrn Prof.Dr.med. F.Láhoda meinen aufrichtigen Dank für die Überlassung des Themas, seine Anregungen und seine konstruktive Kritik bei der Ausführung der Arbeit aussprechen.

Weiterhin danke ich Herrn Generalarzt Dr.med. Garbe für die Benutzung der Bibliothek des Flugmedizinischen Instituts der Luftwaffe in Fürstenfeldbruck und allen Mitarbeitern dieser Bibliothek, vor allem Frau Harder, für ihre Unterstützung.

Mein Dank gilt auch Fräulein M. Sommer für ihre Hilfe bei der äußeren Gestaltung der Arbeit.

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Geschichtliche Entwicklung der Luft- und Raumfahrtmedizin	1
Beleuchten der neurologischen Aspekte in der Luft- und Raumfahrtmedizin und die Auswirkungen von Luft- und Raumfahrt auf den Menschen und auf das Versuchstier	4
Das Zentralnervensystem	5
Vestibularorgan und Ohr	28
Sehapparat	64
Sensorik, Sensomotorik und Koordination	85
Zeitauffassung	96
Kosmische Strahlenwirkung	1o1
Dekompression	1o6
Schlaf- und Wachrhythmen	12o
Schwerelosigkeit	133
Technische Voraussetzung und Durchführung der Untersuchungen	149
Anwendung des EEG	153
Medizinische Aussagen über Spacelab und einige andere Unternehmen	165
Protokolle einiger Astronauten	17o
Vergleich der Kenntnisse USA - UdSSR	176
Diskussion	181
Zusammenfassung	192
Tabelle: Zeitübersicht der Entwicklung in der Raumfahrt	195
Literatur	218
Lebenslauf	244

Neurologische Aspekte in der Raumfahrtmedizin

A. Geschichtliche Entwicklung der Luft- und Raumfahrtmedizin bis heute

B. Beleuchten der neurologischen Aspekte in der Luft- und Raumfahrtmedizin

I. Auswirkungen der Bedingungen in der Luft- und Raumfahrt auf den Menschen und auf das Versuchstier und ihre neurologischen Aussagen

1. Stellung, Wertigkeit und Reaktionsweise des Zentralnervensystems
2. Neurologisch-medizinische Korrelate der Sinneswahrnehmungen
   a) Vestibularorgan und Ohr
   b) Sehapparat
3. Sensorik, Sensomotorik und Koordination bei Fliegern und Astronauten
4. Gefühl der Zeitauffassung

II. Auswirkung anderer Einflüsse und ihre Reaktion auf biologische Systeme

1. Wirkung kosmischer Strahlen
2. Dekompression, ihre Folgen und wirksame Gegenmaßnahmen
3. Betrachtung von Schlaf- und Wachrhythmen in der Luft- und Raumfahrt

III. Die Schwerelosigkeit:
Vor- und Nachteil für Astronauten

1. Definition der Schwerelosigkeit
2. Ihr Auftreten und ihre neurologischen Auswirkungen
3. Schaffen künstlicher Schwerkraft für Raumfahrtunternehmen - ein Segen für künftige Missionen?

IV. Technische Voraussetzung und Durchführung der Untersuchungen zur Gewinnung neurologischer Daten

1. Einige neurologische Meßprogramme
2. Space Simulator
3. Anwendung und Stellenwert des EEG

V. Auswertung einiger künftiger Raumfahrtunternehmen, persönliche Erfahrungen der Astronauten und technisch-medizinischer Stand USA - UdSSR

1. Neurologisch-medizinischer Gehalt von Spacelab und einigen anderen Missionen
2. Protokolle einiger Astronauten zur Verdeutlichung ihrer raumfahrerischen Situation
3. Vergleich der Kenntnisse USA - UdSSR

C. Sinnvolle Synthese zwischen der Funktionseinheit Mensch mit dessen neurologischen Reaktionen und der rasanten Fortentwicklung in Luft- und vorallem Raumfahrt.

Neurologische Aspekte in der Raumfahrtmedizin

A. Geschichtliche Entwicklung der Luft- und Raumfahrtmedizin bis heute

"Sie entzündeten das Feuer, und wir lassen es nicht erlöschen, unternehmen alles in unseren Kräften stehende, damit der größte Traum der Menschheit Wirklichkeit wird", schrieb im Jahre 1929 Oberth an den russischen Wissenschaftler K.E. Ziolkowski, der die Theorie der reaktiven Bewegung ausarbeitete und somit als einer der Väter der Raumfahrt gilt.

Der Wunsch zu fliegen war schon immer ein sehnsüchtiger Traum der Menschheit gewesen, wobei ich z.B. auf die Sagen von Dädalus und Ikarus oder von Wieland dem Schmied verweise. Im Laufe der Jahrhunderte erlahmte nie der Ideen- und Einfallsreichtum bezüglich dessen, was wir heute unter Luftfahrt subsummieren: Von den frühen Anfängen mit Leonardo da Vinci's Flugmaschinen, etwas später gefolgt von der Ära der Montgolfieren (Prinzip "Leichter als Luft") über das erste Flugzeugprojekt von Cayley bis hin zum Jahre 1903, in dem Orville Wright den ersten Motorflug unternahm.[3] Auf der Hochgebirgsphysiologie[1,2] basierend, liefen parallel dazu Untersuchungen mit dem Freiballon als Höhenforschungslaboratorium verknüpft mit der Einführung der Sauerstoffbeatmung und den ersten Opfern der Höhenkrankheit. Namen wie Glashier, Tissandier nebst Sivel und Croce-Spinelli, dann von Schrötter, Spelterini, Koschel und andere sind hierbei besonders zu erwähnen. Aufgrund dieser schnellen Entwicklung auf diesem Gebiet fanden grundlegende Unterdruckversuche des Phy-

siologen Bert statt, auf denen sich im 1. Weltkrieg (ab 1916) Koschels Unterdruckversuche stützten und dessen Ergebnisse zum Großteil wegweisend waren für den Fortgang der Luftfahrt (Prinzip "Schwerer als Luft") vor und während des 2. Weltkrieges. Bei allen kriegsführenden Nationen des 1. Weltkrieges wurde gleichzeitig aus medizinischer Sicht ein "Medical Air Service" ins Leben gerufen mit dem Ziel einer verbesserten Fliegerauslese und Fliegerhygiene (verknüpft mit den Namen Koschel, Flack, Schneider, Beyne und Herlitzka[4]). In Deutschland können wir vier Perioden bei der Entwicklung der Luftfahrtmedizin[1,2] und ihrer Grenzgebiete unterscheiden:

1. Die Zeit der nichtorganisierten Forschung in der Luftfahrtmedizin mit akademischem und zivilem Charakter (Ende des 1. Weltkrieges bis 1933)
2. Die Zeit der straff organisierten Luftfahrtmedizin mit militärischem Übergewicht (1933-1939)
3. Die Zeit der vom Krieg geprägten Luftfahrtmedizin mit der auf den Krieg abgestellten Forschung (2. Weltkrieg)
4. Die Zeit des Anfangs und Höhepunkts des anbrechenden Düsenzeitalters, der Beginn der Raumfahrtmedizin und der Wiederanschluß Deutschlands an die Luft- und Raumfahrtmedizin (Ende des 2. Weltkriegs bis heute)

Mit der Weiterentwicklung der Flugzeuge tauchten neue Fragen auf: einmal die Geschwindigkeit und die Beschleunigung, die radiale Beschleunigung in Richtung Kopf-Fuß, die beim Abfangen aus dem Sturzflug wirksam wurde, das Phänomen des Blackout, beim Sturz der "Schwarze Schleier" und Schlagworte wie "Blut schwerer als Eisen", zum anderen der Anbruch der Düsenjäger-

und Raketenaera und ihre speziellen Überlegungen.
Nachforschungen auf dem Gebiet der bemannten Raketen (damals Geschosse genannt) haben Ruff, Wiesehöfer und Henschke[1,2] betrieben, vorallem die Lage des Piloten während des Flugs, bei Zentrifugalkräften von etwa 2 g in Richtung Fuß - Kopf und deren physische und psychische Auswirkungen mit dem Ergebnis, daß bei solchen Geschwindigkeiten die Möglichkeit zu steuern und zu korrigieren nicht unmöglich wäre.

Was in den letzten 3o Jahren bei der Luft- und Raumfahrt noch in das Reich des Science fiction gehörte bezüglich Geschwindigkeit, Steigleistung, Operationshöhe, Raumkapazität, Nutzlast und Aktionsradius, die Landung auf dem Mond und der weitere Vorstoß ins All ist heute bereits Alltägliches, sich stützend auf jene bescheidenen Vorversuche und deren Weiterführung.

B. Beleuchten der neurologischen Aspekte in der Luft- und Raumfahrtmedizin

General Armstrong bemerkte früher einmal anläßlich eines Raumfahrtsymposiums, "medizinische Forschung in der Raumfahrt sollte abgeschlossen sein, bevor sich die Herren Ingenieure an ihre Zeichenpulte setzen, um ein Raumfahrtzeug zu entwerfen." Zugegeben so sollte es sein, aber die Technik zwingt die Mediziner, viele Dinge gleichzeitig zu verrichten, dennoch ist es von großer Bedeutung, die auf der Erde gewonnenen Forschungsdaten durch Beobachtungen während des Fluges zu bestätigen. Daher liegt das medizinische Hauptaugenmerk auf der Charakterisierung von Beschaffenheit und Einstufung aller wichtigeren Veränderungen in den funktionellen Fähigkeiten des Menschen, die sich aus dem langen Ausgesetztsein unter Raumfahrtbedingungen ergeben. Die Schwierigkeit aber, die dabei auftaucht, ist zum Einen, daß trotz schneller Fortschritte auf dem Gebiet biomedizinischer Wissenschaft die Kenntnis über die normalen oder darauf bezogenen funktionellen Befähigungen des menschlichen Organismus verhältnismäßig begrenzt ist, zum Anderen, daß die spezifischen Folgerungen aus gewissen Umgebungsveränderungen auf die funktionellen Fähigkeiten des Menschen nicht genau bestimmt worden sind, welche daher ein ziemlich ursprüngliches Betätigungsfeld entstehen lassen, wo Theorien vorherrschen und Befunde oft gegensätzlicher Natur sind.

I. Auswirkungen der Bedingungen in der Luft- und Raumfahrt auf den Menschen und auf das Versuchstier und ihre neurologischen Aussagen

Angesichts dieser Ausgangssituation und der daraufhin durchge-

führten Raumfahrten möchte ich anhand der gewonnenen Daten sowohl amerikanischer als auch russischer Quelle hauptsächlich aus neurologischer Sicht die Frage erörtern, ob der Mensch als Bewohner der Erde einen ebenso guten für den Weltraum abgibt, ob seine neurologischen Ergebnisse eine Verträglichkeit und Eignung für noch längere Missionen im All zulassen und wie sich die Entwicklung der Luft- und Raumfahrtmedizin vom neurologischen Standpunkt aus für die Zukunft gestalten wird. Dabei sollte man aber berücksichtigen, daß für viele Untersuchungen aus sicher einleuchtenden Gründen Versuchstiere verwandt wurden und deren Resultate für die Berechnung dienten und als Voraussage für den Menschen in den verschiedenen Raumsituationen interpretiert wurden. Denn ich möchte nur die pathologischen Erscheinungen, die unter den gegebenen Bedingungen auftreten, auf ihren neurologischen Gehalt hin beschreiben, sie mit Beispielen belegen und, falls dargelegt, ihre Diagnostik und mögliche Therapie angeben.

I.1. Stellung,Wertigkeit und Reaktionsweise des Zentralnervensystems

Weil ja das Thema die neurologischen Aspekte beleuchtet, behandle ich natürlich als ersten Punkt das Zentralnervensystem (ZNS) mit all seinen Auswirkungen, die sich in der Luft- und Raumfahrtmedizin darbieten. Die normalen anatomischen, physiologischen und nervalen Gegebenheiten setze ich als selbstverständlich voraus.

Da zugleich das ZNS eine Bedeutung als Speicherungs-, Koordinations- und Ausführungsorgan besitzt, reagiert es je nach Lage der ihm zugeführten Wahrnehmungen z.B. durch das Gehör, Auge, Nase, Zunge oder der Afferenzen aus anderen Körperregionen und

umgekehrt beeinflußt dieser nervale Riesencomputer die Arbeitsweise jener Efferenzen, wie es die gegenseitige Verquickung im weiteren Verlauf der Abhandlung noch zeigen wird. Daher will ich versuchen, die alleinigen Ergebnisse luft- und raumfahrerischer Erfahrungen bezüglich des Zentralnervensystems soweit als möglich darzustellen, ansonsten greife ich auf luftfahrtmedizinische Ergebnisse zurück.

Sich stützend auf K.E. Ziolkowski's Ergebnisse hinsichtlich des Gravitationsstress gegenüber der strukturellen Stabilität des intracraniellen Zirkulationssystems (ICS) (1891) und der cerebrospinalen Flüssigkeit als "hydraulischer Schutzanzug" führte Moskalenko et al.[20,21,22,78,79] seinerseits diese Untersuchungen des ICS unter den Bedingungen der Gravitation, der Beschleunigung und der Schwerelosigkeit durch. Sein Hauptinteresse galt einmal der Funktionsstabilität d.h. Aufrechterhaltung einer adäquaten Durchblutung des Gehirns unter Gravitationseinflüssen, zum anderen der Strukturstabilität d.h. Intaktbleiben der anatomischen Strukturen innerhalb gewisser Beanspruchungsgrenzen der Schwerkraft. Dabei muß für die ICS-Funktionsstabilität der Index der allgemeinen Zirkulation als Inputparameter und der Zustand der Gehirndurchblutung als ICS-Output berücksichtigt werden, wobei der Regulationsmechanismus trotz Inputänderungen konstant arbeitet. Die Regulationskapazität kann bei Kenntnis der Koeffizienten, die sich von dem Autoregulationsindex nach Hashi[80] ableiten, folgendermaßen berechnet werden:

$$K = 1 - \frac{R_o \cdot \Delta P - P_o \cdot \Delta R}{\Delta P \, (\Delta R + Ro)}$$

K entspricht dem Regulationskoeffizient, Ro und Po dem Widerstand und Druck vor dem Einfluß der Beschleunigung und $\triangle$R und $\triangle$P Widerstand- und Druckdifferenz während der Beschleunigung. Bei K = O fehlt die Regulation und der Blutfluß folgt passiv den Inputparametern mit biophysikalischen Kompensationskriterien der ICS. K > O entspricht Autoregulation, K < 1 Unvollständigkeit, K = 1 bedeutet vollkommene Autoregulation und K > 1 ist gleich Überkompensation. K < O läßt auf eine verzerrte pathologische Reaktion und damit auf die Schwere der Verletzung schließen, die durch die Beschleunigungskraft entsteht. Weil auf veränderten arteriellen Blutdruck die Gegenregulation der Gehirngefäße 2o bis 4o Sekunden dauert, kann bei sehr kurzzeitigen Beschleunigungen keine Kompensation der Durchblutung von statten gehen und die Folgen werden sein: Bewußtlosigkeit, spezielle hämodynamische Dysfunktionen gekoppelt mit ICS-Veränderungen wie z.B. Verdrängung des Gehirns (Displacement) und seiner Gefässe, Veränderung der ZNS-Funktionen, wobei aber dem neuroreflektorischen Mechanismus nach Moskalenko's Daten eine große Rolle bezüglich der Aufrechterhaltung der Funktionsstabilität zukommt. Während der Schwerelosigkeit bestehen Durchblutungsverminderung, Bradykardie und zeitliche Fehlsteuerungen bis hinauf zu höchsten Körperregulationen, die ebenfalls eine Rückwirkung auf das ICS zeigen. Was die Strukturstabilität anbelangt, so betraf die Fragestellung die Grenzen der Stabilität, die Signifikanz des Flüssigkeitsschutzes und die mechanischen Eigenheiten der Hirngefäße im variablen Gravitationsfeld. Das Ergebnis seiner Tierversuche, die 2o, 3o und 4o g für eine Minute ausgesetzt waren, besagt, daß der Carotisdruck trotz vermindertem Herzauswurf ziemlich hoch blieb (9o bis 1oo mmHg), wäh-

rend der zentrale Venendruck stärker anstieg und der wachsende intracranielle Druck schließlich mit 3o bis 4o mmHg bei 13 bis 15 g seinen Höchstwert erreichte, bei dem er trotz Steigerung der wirkenden Kräfte verhielt. Aber bei Betrachtung des transmuralen Drucks in den Gefäßen, der bis 13 - 15 g stumm war, zeigte sich jetzt ein Anstieg und bei Übereinstimmung der Gefäßsegmentrichtung mit der 3og-Wirkung konnte schon ein lokaler Druckgradient von 2o mmHg auf 1 cm Gefäßlänge entstehen.

Im histologischen Präparat waren bei über 2o g Schädigungen des Circulus Wilisii und seiner Abzweigungen mit einer Verdünnung der elastischen Intimamembran zu verzeichnen, daneben vereinzelte Ödeme und Muskeleinrisse, zahlreiche Hämorrhagien im Kapillarbett, prallgefüllte Venen und das Bild der Stase, die alle auf den mangelnden Filtrationsschutz zurückgeführt werden. Noch besser dargestellt werden kann der transmurale Druck unter Og-Bedingungen mit der Young-Formel:

$$E_{\tau} \quad (P=0) = \frac{S_m E_m + S_e E_e}{S_m + S_e}$$

mit Sm und Se als Flächen und Em und Ee als Young-Koeffizienten der Muskel- und elastischen Membranen mit Werten von $3 \times 1o^5 N/m^2$ für elastische (e) und $3{,}9 \times 1o^4 N/m^2$ für Muskelmembranen (m). Nicht nur die Einwirkungsdauer der g auf die Gefäße, sondern auch die Verlagerung der cerebrospinalen Flüssigkeit aus dem Gehirn in den Spinalkanal spielt eine Rolle, vor allem die Zeitdauer dieser Umlagerung im Hinblick auf die Stabilität des ICS, je kürzer die Beschleunigung, um so bessere Ergebnisse.
Diese müssen aber auch im Zusammenhang mit dem Gesamtorganismus

gesehen werden, da einerseits die Funktionsstabilität auf dem neuroreflektorischen Mechanismus beruht, andererseits die Strukturstabilität durch die biophysikalischen Eigenheiten des intracraniellen Zirkulationssystems bedingt ist. Seine Versuche führte Moskalenko[20,21,22,78,79] mit Hilfe der Rheographie durch, die einerseits Änderungen des intracraniellen Blutvolumens hinsichtlich der Blutneuverteilung im Gesamtkörper als ein Ergebnis der Anwendung mechanischer Kräfte widerspiegelt, zum anderen einen Einblick aktiver Regulationsprozesse während der cerebralen Zirkulation vermittelt. Denn längerdauernde Schwerelosigkeit beeinflußt den Zustand aller Systeme durch die Abwandlung neurogener Kontrollen des cerebralen Durchflusses, welche sich als Ergebnis geänderter afferenter Impulse im ganzen Körper darbieten. Neben den Parametern Input und Output prägte Moskalenko einen dritten, der aufgrund des Wechsels von cerebrovaskulärem Widerstand stark von chemischen und neurogenen Faktoren abhängig ist und zum besseren Verständnis der Funktion beiträgt.

Im Rahmen der cerebralen Dysfunktion schreibt Kidera et al.[57], daß es schwierig ist, das Auftreten minimaler cerebral-corticaler Dysfunktionen abzuschätzen, da es keinen einzelnen ätiologischen Faktor für flüchtige oder ständig veränderte mentale Funktionen gibt. Seine Ausführung enthält 3 sehr gute Fallbeschreibungen, die besagen, daß neben den Routineuntersuchungen auch die Ausschöpfung neurologischer Methoden keinen ursächlichen Anhaltspunkt erbrachte und den Vermerk "Ätiologie unbekannt" erhielt.

Fall 1: 47 Jahre alter Captain

Physikalische Untersuchung: Leichter Grad an Dysrhythmie des linken Arms, merkliche Herabsetzung des Fußzuckens, angedeuteter Babinski rechts, besseres Erinnerungsvermögen an vergangene Dinge als an kürzliche geschehene.

Weitere Daten: Hirnscanning im Normbereich. Intrathecale Tc^{99m} Hirnaufzeichnung zeigte vergrößertes cerebrales und cerebelläres Ventrikelsystem nach 4 Stunden. Röntgenaufnahmen ohne Befund. Pneumoenzephalogramm mit mäßiger cerebraler Atrophie besonders des Frontallappens.

Psychologische Daten: Nach psychologischen und psychomotorischen Tests (Reitan Battery) milde, aber signifikante Minderung bilateral. Muster motorischen Defizits mit Mangel an sensorischer Beeinträchtigung, verknüpft mit geschwächter Leistung bei der nichtverbalen, Abstraktionsbegriff bildenden Aufgabe, wobei dieser Defizit vereinbar ist mit der milden bilateralen Encephalopathie mit Maximum in den vorderen corticalen Gegenden.

Diagnose: Organisches Hirnsyndrom unbekannter Ätiologie.

Fall 2: 55 Jahre alter Captain

Physikalische Untersuchung: Craniale Nerven voll funktionsfähig außer den extraoculären Muskeln. Schwierigkeit bei Ausführung des lateralen Blicks nach links, was einen Nystagmus hervorruft. Romberg wiederholt sehr schwankend, manchmal Fallen nach links und rückwärts. Finger zur Nase mit linker Hand schlecht, berührt Mund und Lippen zuerst. Sehr unsicher auf den Beinen bei diesen Tests. Sehr stark ausgeprägte Sehnenreflexe der Extremitäten bilateral gleich. Positiver Babinski links.

Weitere Daten: EEG, Hirnscanning und cerebrales Angiogramm normal. Pneumoencephalogramm deckte milde corticale Atrophie auf. Psychologische Daten: Die Ergebnisse zeigten eine degenerative Störung mäßiger Natur in der rechten cerebralen Hälfte. Diagnose: Organisches Hirnsyndrom unbekannter Ätiologie.

Fall 3: 51 Jahre alter Offizier
Physikalische Untersuchung: Eingehende physikalische und chemische Laboruntersuchung im Normbereich. Röntgenologische Sinusdarstellung ergab eine chronische linksseitige Maxillarsinusitis. Weitere Daten: Röntgenuntersuchung des Kopfes und Gehirnscanning normal. EEG deckte eine deutliche bilaterale Dysrhythmie auf mit der Vermutung einer focalen Verletzung links. Pneumoencephalogramm zeigte stellenweise corticale Atrophie mehr auf der linken Seite. Cerebrales Angiogramm erbrachte einen beträchtlichen Zwischenraum zwischen der äußeren corticalen Oberfläche und dem inneren Schädeldach und einen signifikanten Luftraum in der Frontalregion. Das Pneumoencephalogramm stellte darüber hinaus einen Abstand zwischen Cortex und innerem Knochendach fest. Diagnose: Cerebrale corticale Atrophie mäßigen Grades mit unbekannter Ätiologie.

Die Erfahrung des Autors ist, daß minimale cerebrale Dysfunktionen sich öfters ereignen als angenommen wird und kann für Operations- und Trainingsprobleme oder Zusammenbrüche von Piloten oder Astronauten verantwortlich gemacht werden.
Manche Krankheiten des Nervensystems werden einfach bei der klinischen Untersuchung übersehen und, da besonders vorher schon vorhandene neurologische Erkrankungen dazu neigen, ohne Vorwar-

nung plötzliches und katastrophales Unvermögen beim Fliegen hervorrufen, haben sich Seipel und Wentz[58] der Bedeutung einer frühen und adäquaten Diagnose solcher Krankheiten angenommen und gaben gute Fallbeschreibungen als Beispiele an, von dem ich einen anführen möchte:

Fall:

53 Jahre alter Mann mit der Überweisung "Blackout Perioden"

1954 Ohnmacht für die Dauer von 3o Minuten auf einem Flug, wobei er selbst vorher nur ein Prickeln in Händen und Füßen und eine nicht lokalisierbare motorische Schwäche verspürte. Nach Wiedererlangen des Bewußtseins fühlte er sich wie "ausgewrungen", war energie- und kraftlos, im allgemeinen schwach und schweißgebadet. Weiterhin keine Urin- und Fäzesinkontinenz, kein Speichelfluß oder Schaum vor dem Mund, noch Biß in die Zunge oder andere Selbstverletzung und auch keine Brust- oder Kopfschmerzen. Beim Landen ein Gefühl von "grey-out" mit den obigen Extremitätsbefunden. Eine ärztliche Untersuchung fand alles in Ordnung und gab "den Nerven und der Müdigkeit" die Schuld.

1956 Übelriechender Geruch und Geschmack und besonders in den oberen Extremitäten ein starkes Prickeln und Jucken.

Später öfters Auftreten von Prickeln, Jucken, Schwäche, üblen Geruches und visuellen Schleiers und Schwindels.

1958 Generaluntersuchung mit EEG, EKG, Röntgen von Kopf und Oberkörper, Lumbalpunktion und Histamin- und Regitintest, die alle innerhalb normaler Grenzen lagen. Im Alter von 12 und 16 Episoden von Black-out oder Ohnmacht, nicht begleitet von Selbstverletzung, konvulsiven Bewegungen etc. Die neurologische Untersuchung ergab einen leichten Tremor links beim Finger-, Nasetest,

und einen leichten bilateralen Tremor beim Ferse-Schienbeintest. Eine kombinierte Abklärung von EEG und Glukosetoleranztest wurde durchgeführt:

a) Fasten-EEG: Vorherrschende Frequenz von 12-14 Zyklen pro Sekunde mit kleiner Alpha-Aktivität (Blutzucker 12o mg%), die oft von kurzen Wellenentladungen mit 5-7 Zyklen pro Sekunde oder scharfen Wellen unterbrochen wird, wobei letztere besonders in der linken Temporalgegend auftreten. Auch durch Hyperventilation und Licht-Stimulierung keine signifikante Änderung.

b) Glucose-Mahlzeit:

   3o Minuten später: Die gleiche Aktivität außer stärkerer Alphafrequenz und die dysrhythmische Aktivität jetzt auch in der rechten Gehirnhälfte.

   6o Minuten: (Blutzucker 22o mg%) Immer noch unveränderte Aktivität außer verstärkter Alphafrequenz.

   12o Minuten: (Blutzucker 17o mg%) leichte Veränderung der Aufzeichnung, Patient etwas schläfrig und schläft auch ein wenig.

   18o Minuten: (Blutzucker 12o mg%) Wieder schnellere Frequenzen.

   24o Minuten: (Blutzucker 65 mg%) Bestehenbleiben der schnelleren Frequenzen und die temporale Dysrhythmie erscheint viel häufiger.

   3oo Minuten: (Blutzucker 8o mg%) Ausbreitung der Dysrhythmie und verallgemeinerter Prozeß besonders über den temporalen Gegenden, hauptsächlich links, wo die Aktivität der scharfen Wellen häufig ist. Hyperventilation ruft einen stärker signifikanten Zusammenbruch der Aktivität hervor mit hohen Span-

nungsentladungen niedriger Frequenzen und bringt die linksseitige temporale Fokalaktivität zur Geltung.
Dieser dysrhythmische Prozeß ist weniger stark ausgeprägt bei höherem Blutzucker, aber verstärkt bei schnellerem Blutzuckerabfall.

Die Diagnose lautete auf eine gewöhnliche Art Konvulsiver Störung des Temporallappens, bekannt unter der Bezeichnung "uncinate Anfälle". Weiterhin litt der Patient unter verkümmerten Auren, vorallem bei nervlicher Anspannung und dies zeigt die ständige Aktivität des Herdes, der möglicherweise erneute Bewußtlosigkeit und Anfälle hervorrufen kann. Die Anfälle als Jugendlicher könnte man als mißgedeutete Episoden der petitmal Epilepsie deuten. Therapiert wurde mit Antikonvulsiva und Instruktion allgemeiner Vorsichtsmaßregeln bei Anfällen erhielt er ebenfalls.

Aus dieser Geschichte will ich entnehmen:

a) 3o minütige Bewußtlosigkeit oder auch jede andere, länger dauernde Bewußtlosigkeit sollte uns in Alarmbereitschaft versetzen, da meistens mehr dahinter steckt als allgemein angenommen wird, und es nicht bei einem "Alles in Ordnung", wie bei dieser Fallstudie damals geschehen, bewenden lassen.

b) Die angegebenen Symptome wie Jucken, Prickeln der Extremitäten, Schwindelgefühl und andere Erscheinungen hätten Anlaß geben sollen, eine krankhafte Veränderung in Erwägung zu ziehen. Da solche Anfälle in jedem Alter, zu jeder Zeit und ohne Vorwarnung auftreten, sollte jeder Arzt diese abklären.

c) Ein einziges EEG kann nicht als Beweis dienen für das Nichtauftreten eines Anfalls, noch für das Nichtvorhandensein einer Anfallsdiathese. Das heißt, erneutes Anfertigen eines

EEG und bei nochmaliger negativer Aussage ein weiteres unter den vom Patienten angegebenen Anfallsbedingungen z.B. Müdigkeit, Hunger etc.

d) Vorhandensein einer Aura vor der Episode mit folgenden Symptomen: Schwäche oder unwillkürliche Bewegungen in einem oder mehreren Gliedern, Flauheit oder Jucken in einem oder mehreren Gliedern. Außerdem psychische Klagen wie das Gefühl von Unbehagen, Druck, drohendem Unheil oder Gefahr oder "irgend etwas wird geschehen", daneben Halluzinationen der Sinneswahrnehmungen wie ungewöhnliche Geräusche, übler Geruch oder Geschmack, ungewöhnliche Lichter oder Skotome und plötzliche Eigenart vertrauter Umgebung oder das Gegenteil. All diese Punkte muß der Arzt von dem Patienten erfragen.

e) Eher plötzliche und abrupte Bewußtlosigkeit als das langsamere Black-out der Syncope

f) Beweis für eine Selbstverletzung, wie "auf die Zunge beißen", Kopfverletzung und Quetschungen am Körper sollten beachtet werden.

g) Urin- und Fäcesinkontinenz

h) Nach der Episode Verwirrung, allgemeine oder focal motorische Schwäche, Kopfschmerz und Müdigkeit.

i) Beweis für konvulsive Bewegungen oder unpassende Aktivität, was durch Zeugen bestätigt werden kann.

Wenn einer oder mehrere der Punkte d - i daraufhin ansprechen, vorallem die Punkte d, f, g und i, so liegt der Verdacht eines Anfalls sehr nahe. Der Patient sollte von der Luft- und Raumfahrt solange ausgeschlossen werden, bis sich sein Gesundheitszustand soweit gebessert hat, daß sich die oben genannten Punk-

te normalisiert haben und somit widerlegt werden können. Die 5-7 Zyklen pro Sekunde oder auch bilaterale Thetas genannt, sind die häufigste abnorme EEG-Aufzeichnung und viele Untersucher[85,86,87,88,89,90] deuten sie als Verletzungszeichen verschiedener subcorticaler Areale einschließlich Thalamus, Hypothalamus, Mittelhirn, Pons und Medulla.

Seit die cardiovaskuläre Krankheit Haupttodesursache aller Altersgruppen darstellt, ist es bezeichnend, daß Episoden mit kompletten oder teilweisem Verlust cerebraler Funktion bedeutsam sind für das Außergefechtsetzen des Piloten während des Flugs. Angenähert 16.ooo Fälle subarachnoidaler Hämorrhagien aufgrund geplatzter intracranieller Aneurysmen ereignen sich jährlich in den Vereinigten Staaten und Berkheiser[60] ging der Frage des Zusammenhangs zwischen intracraniellen Aneurysmen und der Flugunfähigkeit des Piloten nach. Eine retrospektive Studie (1958-68) an 1.14o Autopsien mit vollständiger ZNS-Prüfung deckte ein Vorkommen dieser Aneurysmen in 3,6 % auf, wobei in 25 Fällen die Ruptur die sofortige Todesursache war, in 24 % trat der Tod innerhalb 4 Stunden und 56 % innerhalb 12 Stunden oder weniger ein. Eine hohe Rate (68 %) von intracentriculären Hämorrhagien wurde verzeichnet; die Aneurysmengröße schwankte zwischen o,8 cm - 3,4 cm mit dem Mittelwert von 1,o cm. Die Lage dieser Aneurysmen war sehr verschieden: 35 % sowohl in der Arteria Basilaris als auch in der Carotis interna; 4 in der rechten mittleren Cerebralarterie, 4 in der linken vorderen Cerebralarterie, 3 in der vorderen Communicans arterie, 3 in der Arteria Communicans posterior, je eins für Arteria cerebri media links und Arteria cerebri posterior rechts, ein Fall mit multiplen Aneurysmen ein-

schließlich der rechten und linken Aa. communicantes posteriores. Histologisch zeigten sie wenig atherosklerotische Veränderungen und wurden dem congenitalen Typ zugeordnet. In 44 % war eine erst kürzlich erfolgte oder organisierte Thrombose zu verzeichnen und die Begleitkrankheiten lassen sich in 4o % mit signifikanter Herzhypertrophie (45o Gramm) und mit leichter bis mittlerer coronarer Atherosklerose in 24 % auflisten. Bei den klinischen Symptomen kristallisierte sich in mehr als 9o % der Fälle Kopfschmerzen als Vorgeschichte heraus und vage neurologische Beschwerden mit visuellen Störungen oder Nackensteife kennzeichnete den Rest. Eine drohende Aneurysmenruptur oder eine subarachnoidale Hämorrhagie laufen in eine verschiedene Einstufung von Bewußtlosigkeit hinaus. Der Einbruch in das Ventrikelsystem ruft eine dramatische Bewußtlosigkeit hervor und wird in Beziehung zu der hohen Rate plötzlicher Todesursachen gesetzt. Vage neurologische Symptome, Kopfschmerzen oder Unbehagen mögen die einzigen vorhandenen Krankheitsbilder eines intracraniellen Aneurysmas für den Fliegerarzt bilden. Was aber die subarachnoidale Hämorrhagie oder vorausgegangene Blutungen anbelangt, so ist eine eingehende Abklärung einschließlich cerebraler Angiographie erforderlich. Nur eine sorgfältige klinische Erhebung und neurologische Abklärung sind die einzig wirklichen Methoden in der Auffindung dieser Krankheit bei Fliegern.

Raboutet's Report[65] über die Zeitspanne von 1948-1972 behandelt ebenfalls dieses Thema, besonders die hohe Incidenz cardiovaskulärer Unfälle. Dabei stellt er fest, daß mehrere Bedingungen für einen Anfall gleichzeitig erfüllt sein müssen:

1. Das Unvermögen muß den Piloten beim Überprüfen der Kontrollen erfassen.
2. Das Unvermögen muß plötzlich sein.
3. Es muß vollständig sein.
4. Es muß sich während der kritischen Phase des Startens oder in dem letzten Stadium des Landens ereignen.

Der große Begriff der Flugunfähigkeit während des Fluges stellt ein großes Problem für die Mediziner dar und unter seiner Bezeichnung werden zusammengefaßt: Bewußtlosigkeit verschiedenartigster Ätiologie, räumliche Desorientierung, Hypoxie, Dämpfe im Cockpit, Raumfahrtkrankheit, Hyperventilation, coronare Erkrankung, Otitis media, rasche Dekompression, Dysbarismus, vasovagale Syncope, funktionelle Hypoglykämie, Migräne, Schizophrenie, negative Gz und falsches M-1-Manöver (Rayman).
Raymann[59] belegte seine Arbeit mit vielen Beispielen, von denen ich jetzt einige anführe, und andere sind bei den jeweiligen Kapiteln zu finden. Der Bewußtseinsverlust unbekannter Ursache macht die größte Gruppierung aus.

1. T-37: Flugschüler verlor Bewußtsein während des nach Obenziehens der Maschine nach einem Sturzflug; untersucht in der SAM mit dem Ergebnis unbekannter Ätiologie und Ausschluß vom Flugtraining.
2. T-37: Bewußtseinsverlust beim gleichen Manöver; keine Diagnose bei der SAM und Abbruch des Flugtrainings.

Das M-1-Manöver, das die positiven G-Toleranzen ansteigen läßt, wird durch Beugen nach vorne, durch Anspannen der Muskeln von Armen, Beinen, Brust und Bauch ausgeführt. Dabei wird langsam ausgeatmet. In diesen beschriebenen Fällen wurde stattdessen

ein Valsalvamanöver bei geschlossener Glottis durchgeführt. Drei Berichte aufgrund vasovagaler Syncope und Überempfindlichkeit gegenüber +Gz wurden ebenfalls identifiziert:

1) T-37: Flugschüler verlor Bewußtsein in 15.ooo ft. Höhe, in der er 5+ Gz ausgesetzt war. Diagnose Überempfindlichkeit gegen +Gz.
2) F-89: Fataler Absturz nach Luftkampfmanöver in niedriger Höhe; Pilot hatte medizinische Vorgeschichte mit einem vasovagalen Empfindungsmechanismus. Man glaubt, +Gz sei die Ursache der Bewußtlosigkeit.
3) T-37: Flugschüler verlor Bewußtsein am Ende einer Trudelübung; Diagnose vasovagale Syncope und Ausschluß von Flugtraining.

Munson[74] stellt in diesem Zusammenhang mit der Hypoxie fest, daß der häufigste Grund dafür das schlechte Funktionieren des Regulators sei und die anderen Gründe seien: Abnahme der Maske in großer Höhe, falsche Maskenbefestigung, Regler in off-Stellung und Lecks in der Verbindung. Die Definition der Flugunfähigkeit während des Flugs bleibt sich bei allen Autoren (Leighton-White[63], Raymann[64] etc.) gleich und besagt folgendes: "..Als jeder Zustand, der auf die Gesundheit eines Piloten während der Ausübung seiner Pflichten einwirkt und der es ihm unmöglich macht, seine Pflichten weiterhin auszuüben. Unter Pflichten sind zu verstehen normale Tätigkeiten und abnorme oder Notzustände." In seiner Studie legt Leighton-White[63] die Gründe für diese Unfähigkeit klar dar, ebenso ihre Auswirkungen und ihre effektive Abstellung. Besonders den Beginn der Bewußtlosigkeit haben Dvorak et al.[61] in ihrem Versuch mit dem MIG-17

Trainer beschrieben, wobei die Untersuchten einer Nitrogenhypoxie ausgesetzt wurden. Selbst in der Bewußtlosigkeit wurde normale aufrechte Körperhaltung festgestellt. Daneben verzeichneten sie ein großes Ansteigen der Muskelanspannung, die zu einem leichten Krampf in 6o % der Fälle führte und nur ausnahmsweise zu schweren tonischen Krämpfen, die vergleichbar sind mit denen einer decorticalen Starre.

In einigen Fällen wurde eine flüchtige, frontale Rotation der Augäpfel mit Abweichung nach einer Seite beobachtet. Illusorische Sensationen entstanden wahrscheinlich zusammen mit den Augenbewegungen und die Bewegungen der Kabine konnten durch eine aktive Anstrengung hervorgerufen worden sein, um das unwahre subjektive Gefühl zu korrigieren. Möglicherweise werden die Eindrücke mit den Veränderungen der Empfindlichkeit des Nervensystems in Bezug gebracht, besonders aber mit dem System für die Gleichgewichtserhaltung. Bezogen auf die Piloten heißt dies, daß kurz vor der Bewußtlosigkeit diese Täuschungen zu einem wirksamen falschen Flugmanöver auf dem Simulator zu führen scheinen und im Ernstfall zu dem tragischen Absacken, wenn der Pilot bewußtlos wird. Auf die während der Hypoxie eintretenden Auswirkungen bei Piloten gehe ich speziell bei dem Kapitel Dekompression ein.

Besonderes Interesse gilt der plötzlichen Incapacitation, um die Verträglichkeit verschiedener medizinischer Bedingungen auf Piloten im Rahmen der Flugsicherheit bestimmen zu können. Eines der sehr verblüffenden Probleme dabei ist, das Anfallsrisiko nach den Kopftraumen zu entscheiden. Man kann leicht die Fakten aufzählen, die sich dafür zusammensetzen aus Schädelbruch, Penetra-

tion der Dura, Senkung des Bruches, Auftreten einer Infektion, Zerreißung des Gehirns und Lokalisation der Hirnverletzung.

Ebenso von Wichtigkeit ist das Auftreten und die Dauer einer veränderten Bewußtseinslage, Auftreten und Zeitdauer von Anfällen, Auftreten und Merkmale der Amnesie, Intervalle seit dem Unfall und alle sich daraus ergebenden Symptome, daneben die anfänglichen und übrigbleibenden neurologischen Ausfälle, die EEG-Befunde und auch der Medikamentengebrauch.

Anhand von 96 Patienten behandelte Brown[67] das Gebiet der Vertigo bei Fliegern. Unter dem Begriff Vertigo versteht man einmal physiologische Vertigo und räumliche Desorientierung, die gewissermaßen als erwartete Illusionen bei verschiedenen Linear- und Winkelbeschleunigungen während des Fliegens auftreten. Zum Anderen mag ihre Ursache den Grund in pathologischen Prozessen haben, die nicht vorher zu sehen sind und für jeden Flieger katastrophal sein können. Die gestellten Diagnosen und Beschwerden zeigt Tabelle I, Tabelle III gibt die 22 % wieder, bei denen echte Vertigo nicht das Symptom war, und Tabelle IV enthält die restlichen 75 Fälle mit echter Vertigo, wobei 57 davon bei Piloten auftraten. Eine nachdrückliche Abklärung aller Vertigofälle wird von Brown empfohlen, um eine richtige Behandlung einzuleiten, die Wahrscheinlichkeit des Wiederauftretens vorauszusagen und die entsprechenden flugmedizinischen Anordnungen zu treffen.

Meldungsgründe an die USAFSAM über Patienten, die in der Vertigo-studie vom 1. Januar 1964 bis 31. Dezember 1969 (nach Brown[67])

Tab. I

Angaben	Anzahl
Vertigo	43
Schwindel	6
Leichtigkeit im Kopf	3
Meniere (endolymphatischer Hydrops)	9
Pseudo-Meniere-Syndrom	1
Atypischer endolymphatischer Hydrops	1
Labyrinthitis	14
Labyrinthstörungen	1
Vestibuläre Neuronitis	3
Vestibuläre Neuropathie	1
Toxische Labyrinthitis	1
Benigner Positionsvertigo	4
Haltungsvertigo	1
Labyrinthdistorsion	1
Labyrinthunterfunktion	3
Nystagmus	1
Desorientierung	2
Akustikusneurinom	1
	96

Anzahl der jährlichen Vertigomeldungen an die USAFSAM von 1964 bis 1969

Tab. II

Jahr	neue Vertigopatienten
1964	2o
1965	13
1966	19
1967	18
1968	19
1969	7
	96

Diagnose der Nicht-Vertigo Fälle, die der USAFSAM wegen Vertigo im Zeitraum von 1964 bis 1969 überwiesen wurden.

Tabelle III

Diagnose	Fallzahl
Syncope oder Präsyncope	6
Epilepsie des Temporallappens	3
Unklare Symptome aufgrund Emotion	3
Unklare visuelle Symptome unbestimmter Ursache	3
Multiple Sklerose	1
Migraine	1
Luftkrankheit	1
Keine erkennbare Krankheitsursache	3
	21

Diagnose echter Vertigo-Fälle

Tabelle IV

Diagnose	Fallzahl
Vertigo unbestimmter Ursache	42
Meniere	6
Alternobarische Vertigo	6
Virale Labyrinthitis	5
Vestibuläre Neuronitis	4
Benigner Positionsvertigo	3
Vertigo als psychoneurotische Manifestation	3
Vertigo aufgrund akuter Mittelohrerkrankung	1
Vertigo aufgrund peripherer Gefäßerkrankung	1
Vertigo aufgrund vertebro-basilarer Arterien-insuffizienz	1
Vertigo aufgrund Herpes zoster (zentral)	1
Vertigo aufgrund einer Manifestation einer Anfallskrankheit	1
Vertigo aufgrund einer unspezifizierten ZNS-Störung	1
	75

Form des Auftritts echter Vertigo bei den überwiesenen Fällen an die USAFSAM zwischen 1964 bis 1969

Tab.V

Auftrittsart	Fallzahl
Medizinische Hilfe speziell eingewirkt während oder gerade nach der ersten Episode	33
Medizinische Hilfe mit spezifischer Einflußnahme nach mehr als einer Episode	25
Während einer ärztlichen Routinekontrolle entdeckt	6
Während einer dritten Untersuchung dem Fliegerarzt offenbart	2
unbekannt	9
	75

Aufzählung der charakteristischen Symptome alternobarischer Vertigofälle bei dem USAFSAM Aeromedical Consultation Service 1964-1969 (nach Brown[139])

Charakteristika der Symptome	Fallzahl 1	2	3	4	5	6
Klassische Vertigo	+	-	-	+	+	+
verstärkt durch Höhenkammer	x	-	+	-	+	+
verstärkt durch kalorischen Test	+	+	+	Unk	Unk	Unk
begleitet von Nausea	-	+	+	+	-	-
begleitet von Erbrechen	-	+	-	-	-	-
Dauer für Sekunden	+	Unk	$-^{x}$	+	+	+
Auftreten beim Flug	+	+	+	+	+	+
Auftreten auf dem Boden	+	-	-	-	+	+
während des Ausstiegs	+	+	-	-	+	+
nach Valsalva	+	-	+	+	+	+
begleitet von URI	-	+	-	+	+	+

x = nicht durchgeführt
Unk = unknown
$-^{x}$ = Dauer durch Hyperventilation verlängert

In anderem Zusammenhang stellte Harper et al.[68] fest, daß die nur teilweise Funktion des cerebralen Cortex bei Piloten einer der gefährlichsten Umstände ist, die während der Flugoperationen entstehen können. Als hauptsächliche Ursachen für diesen Teilausfall gibt er der Häufigkeit nach geordnet an:

a. reaktive Hypoglykämie
b. cerebral-corticale Atrophie
c. psychologische Gründe
d. Gehirntumor (frühes Stadium)

Raichle und King[69] präsentierten für ihre Kenntnisse den ersten beschriebenen Fall einer Kombination von Hypoglykämie und Beschleunigungsstreß, der zur Bewußtlosigkeit führte. Dieser Pilot erlitt eine Episode unerklärbarer Bewußtlosigkeit während +Gz-Beschleunigung, die sich 2 Stunden nach einem sehr kohlehydratreichen Essen ereignete. Der Patient schilderte seine Eindrücke so: "Kurz vor dem Ereignis ein vages Gefühl von Unbehagen, gefolgt von excessiver Wärme und Verwirrtheit im Kopf und dann die Bewußtlosigkeit". Blutzucker nach 45 Minuten des Anfalls betrug 1oo mg%. Ein Glukosetoleranztest sowohl anschließend als auch später bei der SAM schwankte nach 2 Stunden zwischen 4o-5o mg% Blutzucker. Der folgende Zentrifugentest an der SAM zeigte im Hungerzustand, daß der Patient bei schnellem Laufbeginn +4,2 Gz und bei graduiertem Beginn +4,7 Gz aushielt. Nach 1oo Gramm oraler Glukosebelastung trat der oben erwähnte Blutzuckerabfall auf und die Beschleunigungstoleranz betrug jetzt +3,2 Gz während des schnellen Beginns und +3,8 Gz bei stufenweisem Beginn. Also ein Abfall von 24 % für die schnelle Zentrifugenbewegung und von 19 % bei langsamer Zentrifugenbewegung.

Dieser Fall zeigt, daß die Aufrechterhaltung eines angemessenen Zirkulationsniveaus an Glukose und Sauerstoff dann kritische Werte annimmt, wenn es gilt, den Beschleunigungsstress auszuhalten. Es muß daran erinnert werden, daß cerebrospinale Fließveränderungen viel langsamer vonstatten gehen als beim Blut unter diesen Verhältnissen. Sie mögen nach 6o bis 9o Minuten der Episode eine Hypoglykämie wiederspiegeln, die bei sofortiger Prüfung der Spinalflüssigkeit eine frühe Diagnose ermöglichen.

Ebenfalls im Rahmen der Flugsicherheit bei Piloten spielt das tetanische Syndrom eine Rolle, das sich in einer erhöhten Reizbarkeit des Nervensystems, besonders der peripheren Nerven einschließlich des neurovegetativen Systems (Oberholz et al.[7o]) zeigt. Klinische Manifestationen reichen von der charakteristischen tetanischen Episode mit Carpopedalspasmus und Parästhesien der Akren über vegetative wie z.B. auf cardiovaskulärer, respiratorischer und gastrointestinaler Ebene bis hin zu vestibulären (z.B. Vertigo), cerebralen und psychischen (z.B. Depression) Symptomen. Denn diese stellen eine große Gefahr für die Flugsicherheit dar, wie ich schon oben aufgeführt habe. Das Stellen klinischer und neurophysiologischer Diagnosen, um die tetanische Disposition im Intervall abzuschätzen, bedient sich der Zeichen nach Chvostek, Trousseau und von Bonsdorff, dem Hyperventilationstest, dem Erb'schen Zeichen und der Elektromyographie. Diese elektrische Diagnosenstellung und die Elektromyographie sind die zuverlässigsten Prüfungsmethoden für die Disposition einer Tetanie.

In einer ganz anderen Richtung verliefen die Untersuchungen über die räumliche Desorientierung von Cohen[71] an Makakenäffchen, de-

nen er LSD, Sernyl und Ditran verabreichte. Diese Drogen rufen eine deutliche räumliche Desorientierung ohne nennenswerte Inaktivierung der Versuchstiere hervor. Denn die Leistung aller Affen nach der medikamentösen Verabreichung waren bedeutend schlechter als normal. Cohen's Folgerung war auch, den Gebrauch dieser Halluzinogene in angemessener Dosierung auszunützen, um eine Desorientierung unter Trainingsbedingungen bei Astronauten zu provozieren. Seine Idee verfolgt weiterhin die Absicht, zukünftige Astronauten mit den physischen und geistigen Schwierigkeiten dieses Phänomens vertraut zu machen. Schließlich soll durch diese Methode die Ernsthaftigkeit tatsächlicher Desorientierung während des Raumfluges durch wiederholtes Training im Flugsimulator verringert werden.

Neben den Begriffen der Bewußtlosigkeit, der Incapacitation und den durch Kopfverletzungen hervorgerufenen neurologischen Symptomen gibt es noch einen weiteren Begriff, nämlich den der Syncope. Sie hat eine höhere Vorkommensrate als angenommen wurde. Lamb et al.[91] fanden überraschenderweise 37 % der Patienten mit Syncope bei 1892 Fliegern, 2o % mit anderen Ursachen. Daraufhin stellte er fest, daß "zwischen 15 % und 25 % der USAF-Piloten Erfahrungen mit dem syncopalen Typ der Bewußtlosigkeit haben, und schloß daraus, daß "Syncope ein nicht so seltenes Ereignis bei gesunden Fliegern ist". Gastaut und Gibson[83] fanden, daß Hyperventilation und Atemanhalten keine Syncope bei ihrem Patientengut hervorriefen, aber bilaterale oculare Kompression, Carotissinusmassage und die Valsalvaübung dies des öfteren taten.

Die Gründe für dieses Phänomen schließen sowohl pathologische Ursachen als auch normale oder überempfindliche physiologische Antworten mit ein.

Besonders wichtig für die Klassifizierung der syncopalen Krankheitsursachen ist diejenige nach Dermksian und Lamb[84,85], die sechs Punkte umfaßt:

1. Inadäquater venöser Blutrückstrom zum Herzen (einschließlich orthostatischer Hypotension, Atmen unter Druck, Valsalva und stärkere G-Kräfte etc.)
2. Unwirksame cardiale Pumpaktion (einschließlich neurogener, cardioinhibitorischer Antworten auf Atemanhalten, Hyperventilation und weitere respiratorische Übungen, die den pulmonalen Dehnungsreflex stimulieren, ebenso wie andere vagale Stimulationsmanöver wie oculare Druckausübung und Carotissinusmassage).
3. Verlust des peripheren arteriolären Widerstands (z.B. vasodepressorische Syncope)
4. Qualitative Veränderungen in der Blutzirkulation
5. Quantitative Veränderungen in der Blutzirkulation
6. Störungen des Zentralnervensystems.

Natürlich muß mehr als einer dieser Punkte bei dem Auftreten einer Syncope erfüllt sein und der Fliegerarzt muß diese Bereiche sehr sorgfältig abklären, wenn er einen Piloten auf eine syncopale Episode hin begutachtet.

Blackburn[72] legt bei der Begutachtung der Syncope ebenfalls größeren Wert auf physiologische Gründe oder auf überempfindliche Antworten gegenüber physiologischem Handeln und gibt den Fliegerärzten Empfehlungen für die Begutachtung und das Abwen-

den einer Syncope. Danach sollte die Untersuchung neben der Basisbatterie physiologischer Tests (vgl. Tabelle II)[72] eine detaillierte Krankengeschichte, eine vollständige physikalische und neurologische Untersuchung, routinemäßiges Labor, Röntgenaufnahmen, EKG und falls nötig eine psychiatrische Begutachtung umfassen. Sowohl er als auch Lamb vertreten die Meinung, ihre Haltung gegenüber dem Begriff Syncope neu zu überdenken, und dieses Symptom sollte nicht automatisch als eine Krankheit angesehen werden, die den Pilot zum Bodendienst zwingt. Daher gibt er vier Verhaltensmaßregeln für die Fliegerärzte zur Verhütung von Syncopen aus:

1. Ausführung einer sehr genauen, standardisierten Prüfung aller Fälle einer Syncope
2. Verbesserung der Routinetests, um hypersensitive Antworten auf physiologische Manöver zu entdecken
3. Eine noch eingehendere Einweisung der Flugmannschaften in die richtigen Respirationsmanöver
4. Eine noch stärkere Betonung der persönlichen Hygiene gegenüber den Fliegern.

Seiner Meinung nach werden diese Regeln eine bessere Behandlung dieses Symptoms gewähren und die Flugsicherheit wird dadurch verstärkt.

Daß Syncope oder Epilepsie mit neurotischen Reaktionen des syncopalen oder epileptiformen Typs verwechselt werden, kommt hin und wieder vor.

Richter et al.[73] beschrieben das ziemlich ungewöhnliche Auftreten der grande hysterie (Janet)[126] bei einem Air Force Pilotenschüler, der bei der SAM wegen Bewußtlosigkeit, begleitet von

Protokoll über physiologisches Testverfahren bei Syncope-Patienten (nach Blackburn[72])

Tab. II

Elektroencephalogramm
- Routinemäßige Aufzeichnung
- Atemübungen (Hyperventilation, Atemanhalten, Valsalva)
- Andere vagale Stimulationsübungen (okulare Druckausübung, Carotis-Sinus-Massage)

Kipptisch (horizontale Position)
- Routinemäßige Durchführung
- Atemübungen
  - Atemanhalten bei maximaler Inspiration (1 Minute)
  - Hyperventilation (1 Minute)
  - Hyperventilation (1 Minute) gefolgt von Atemanhalten (15 Sec.)
  - Valsalvaübung (3o Sec.)
  - Atemübungen nach Atropin
- Andere vagale Stimulationsübungen
  - Rechte Carotismassage (15 Sec.)
  - Linke Carotismassage (15 Sec.)
  - Bilaterale okulare Druckausübung (15 Sec.)

Kipptisch (vertikale Position)
- gleiche Testdurchführung wie bei horizontaler Position
- plus cold pressor test
- (Hand in Wasser von $0^{\circ}C$ gehalten für 1 Minute)

Orthostatischer Hypotensionstest
- Patient in horizontaler Position für 15 Minuten, dann in vertikale Position gekippt und Reaktionen, Blutdruck und EEG kontrolliert bis zum Wiedererlangen von Normwerten

Niederdruckkammer
- 1oo % Oxygen
- Hypoxie
- Positives Druckatmen

einem Opisthotonus, untersucht wurde. Seine Geschichte begann dabei mit einem Gefühl des Unbehagens bei der Behandlung der Fraktur seines Ringfingers, wobei er keine Schmerzen, aber die Ahnung von Unruhe und Verwirrtsein im Kopf verspürte. Während dieses Anfalls, bei dem er im Stuhl saß, war der Patient in einer tonischen Extensorposition, unterstützt von seinen Schultern an der Stuhllehne und seinen Fersen auf dem Boden. Dabei ergab sich eine opisthotonische Kurve des Rückgrats und eine Extension des Kopfes. Seine Augen waren in der Mittellinie "aufgerollt" und es trat keine extreme Bewegung auf. Dann ließ der Anfall nach und nach 2o-25 Sek. war er wieder voll ansprechbar. Es wurden keine Zeichen eines Biß auf die Zunge, der Inkontinenz oder postical Verwirrung festgestellt. Schon früher hatte der Patient vier Anfälle (einmal als Altarjunge während des Kniens in der Kirche, dann nach einer Procainspritze beim Zahnarzt, beim dritten Mal beim Blutspenden und schließlich bei seiner kirchlichen Trauung), wobei die Ätiologie dieser Episoden der Syncope nicht ganz klar ist. Sie waren von kurzer Dauer und ereigneten sich manchmal unter Umständen, die eher vasodepressiven Syncopen glichen.

Ob nun (das Außergefechtsetzen) die Incapacitation für eine Syncope mit deren vielfältigen Ursachenmuster oder ob sie für die verborgenen oder unerkannten pathologischen Verletzungen in Frage kommt, müssen beständig medizinische Anstrengungen von seiten des Fliegerarztes gemacht werden, die Ursachen so früh wie möglich zu erkennen, wie die Chancen stehen für einen Wiederauftritt und welche Schritte zur Prevention unternommen werden können.

Wie eingangs schon erwähnt, ist die Verquickung des ZNS mit an-

deren neurologischen Inputs vielfältiger Natur und darum meine ich, die alleinigen Einflüße auf die Neurologie dieses Riesencomputers dargestellt zu haben. Ebenso glaube ich, habe ich die tatsächlichen neurologischen Ereignisse und die unter experimentellen Bedingungen gewonnenen Erfahrungswerte bezüglich des ZNS unter Luft- und Raumfahrtbedingungen einigermaßen gebracht. Welche Bedeutung diese für die Luft- und Raumfahrt haben, mag die Fallauswahl gezeigt haben. Die Ärzte sind meiner Meinung nach aufgerufen, große Sorgfalt bei fliegerischen und raumfahrerischen Untersuchungen walten zu lassen im Interesse des Einzelnen und der Sicherheit der Gesamtheit.

I.2. Neurologisch-medizinische Korrelate der Sinneswahrnehmungen

Um es noch einmal zu wiederholen, die Verquickung neurologischer Einflüße bleibt nicht nur alleine auf das Zentralnervensystem beschränkt, sondern sie betrifft ebenso die Sinneswahrnehmungen von Ohr und Vestibularorgan, von Auge und Nase.

I.2. a) Vestibularorgan und Ohr

An erster Stelle beschreibe ich die neurologischen Einwirkungen auf das Ohr und Vestibularorgan, vorallem auf das Vestibularorgan, deren Auswirkungen auf die Luft- und Raumfahrtmedizin und die Konsequenzen, die sich daraus ergeben.

Heutzutage sind trotz der fast alltäglichen Raumfahrtunternehmen immer noch folgende Fragestellungen von eminenter Wichtigkeit für die daran beteiligten Ärzte. Wie verhält sich der Raumfahrer im Zustand der Schwerelosigkeit von der Warte des Vestibularorgans aus gesehen, welche Verträglichkeit zeigt er und wie sehen seine Reaktionsweisen aus, die er durch die nervalen In- und

Outputs seines Gleichgewichtsapparats zugeführt bekommt. Daher werde ich auch das Thema Ohr nur in dem Zusammenhang mit dem Vestibularorgan darstellen, in dem es in der mir zur Verfügung stehenden Literatur beschrieben wurde.

Wie schon zuvor erwähnt, ist seit Jahrhunderten die Wahrnehmung der Drehung und damit die Vertigo, also das Gefühl für den Schwindel bekannt, besonders die Auswirkungen vestibularer Reizung auf den Gemütszustand des Menschen. In den letzten 7o Jahren zeigt sich ein besonderes Interesse an den Funktionen des Vestibularorgans als Ergebnis der Entwicklungen in der Luftfahrt und vorallem jetzt in der Raumfahrt. Die Wichtigkeit des Vestibularsystems für die Fliegerei wurde sehr zeitig erkannt und am Ende der zweiten Dekade von "Schwerer als Luft" erschienen einige systematische Berichte[92,93,94] bezüglich dieses Themas. Trotz der noch nicht ausgereiften Untersuchungsmethoden wurde aber in überzeugender Weise nachgewiesen, daß dieses Organsystem einen bedeutenden Beitrag zur Desorientierung während des Fluges leistet.

Die Wahrnehmung der räumlichen Lage des menschlichen Körpers vollzieht sich beständig unter dem Zusammenspiel des optischen, statokinetischen, propriozeptiven, taktilen und interorezeptiven Analysators. Die Reize dafür sind für die optische Anordnung das Licht und für die restlichen die mechanische Energie.

Das Hauptorgan bei der Orientierung unter g-Bedingungen stellt das Vestibularorgan dar, das aus peripheren Rezeptoren, nervalen Afferenzen und dem ZNS zugehörigen Teil besteht. Diese Rezeptoren wiederum teilen sich in die Bogengänge und den Otolithenapparat. Diese Bogengänge, die nach den drei Raumebenen senk-

recht zueinander ausgerichtet sind und die mit Endolymphe gefüllt sind, besitzen an ihren Anfängen die Haarzellen, an denen die sensiblen Vestibularnerven enden. So haben schon vor 1oo Jahren Cyon und Breuer und Mach die entscheidende Rolle des Vestibularsystems für die Raumvorstellung erkannt, denn schon damals beschrieb Cyon[127]: "Die Bogengänge stellen die peripheren Organe des Raumgefühls dar, das heißt, die durch Reizung der Nervenendigungen in den Ampullen hervorgerufenen Empfindungen dienen als Grundlage für die Ausbildung unserer Begriffe vom dreidimensionalen Raum." Der Reizmechanismus ist abhängig von den Gesetzen der Trägheit, d.h. bei linearer Bewegung des Kopfes zusammen mit dem Körper oder bei Unbeweglichkeit des Kopfes wird keine Bewegung der Endolymphe verzeichnet. Aber bei Drehen oder Beugen des Kopfes erzeugt diese Flüssigkeit einen Druck auf die der jeweiligen Bewegung gegenüberliegenden Bogengänge, was dann die Vestibularnervenendigungen reizt und diesen Informationsfluß über das Geschehen dem Gehirn zuführt. Was die Funktion des Otolithenapparats anbetrifft, so dient er als Gravitationsrezeptor. Durch Schwerkrafteinwirkung drücken die aus Kalzium bestehenden Otolithen, die in einer gallertigen Flüssigkeit den Haarzellenfortsätzen anliegen, auf die letzteren und somit werden je nach Druckgröße verschiedene Empfindungen dem Gehirn mitgeteilt.
Kurzum das Labyrinht als Rezeptorsystem von höchster Spezialisierung hat vier Hauptaufgaben:

1. Aufrechterhaltung des Gleichgewichts bei Inputzufluß von subjektiven Empfindungen der Bewegung und räumlicher Orientierung
2. Überwachung des Kontrollsystems für die aufrechte Haltung bei gleichzeitiger Aktivitätsanpassung der Muskeln, um z.B. einen

Sturz zu verhindern.

3. Kontrolle der Augenbewegungen bei Stabilisierung des Sehvermögens während der Kopfbewegung und Fixierungshilfe bei der Abbildung auf die Retina
4. Ausübung eines dominierenden Einflußes auf das autonome Nervensystem, welches die cardiovaskulären und viszeralen Funktionen kontrolliert.

Das Vestibularsystem besitzt ebenfalls eine enge Verbindung zum optischen Apparat. Denn bei schnellen Drehungen um die Körperachse, was Reize in diesem System setzt, bemerkt man bei abruptem Stop die optische Sinnestäuschung, daß sich nämlich die umgebende Situation dreht. Daß es auch die umgekehrte Beeinflußung gibt, darauf werde ich später bei dem Sehapparat im einzelnen eingehen.

Die weitere räumliche Orientierung ergibt sich aus der zu Hilfenahme besonderer Analysatoren wie etwa der optische, akustische und Geruchsanalysator, die als Distanzrezeptoren arbeiten. Deshalb Distanzrezeptoren, weil sie aufgrund außerordentlicher Empfindlichkeit die einwirkenden Reize schon auf große Distanz hin unterscheiden.

Ebenfalls haben Untersuchungen von Juganow et al.[128] ergeben, daß Sinnesorgane der räumlichen Wahrnehmung bei Schwerelosigkeit nicht mehr durch gravitationsbedingte Kräfte gereizt werden, sondern daß in den reziproken Beziehungen zwischen den Bogengängen und den vestibulären Otolithen Veränderungen auftreten. Dabei tritt keine funktionelle Ausschaltung der Otolithen auf, denn es kommt nur zu einer Art Minusreiz, wobei dem Gehirn sehr veränderte Informationen zufließen. Denn es ist auch bekannt, daß die

Otolithenkristalle sich verändern, wenn z.B. Laboratoriumstiere für eine längere Zeit bei 2 bis 4 g gehalten werden. Daher könnte meiner Meinung nach ein längerer Raumaufenthalt ebenfalls beim Menschen eine Veränderung der Otolithen mitsichbringen, sei es nur in ihrer Struktur oder aber in ihrer Mineralisation.

Einen besonders breiten Raum in dieser Sparte nehmen die Studien über die Empfindlichkeit der Rotation, ihrer Wahrnehmung und das Phänomen der "Motion Sickness" ein, das vorallem in der Raumfahrt von großer Bedeutung für die Astronauten ist. Denn seit den bemannten Raumflügen hängt ihr Erfolg von einem gut funktionierenden Gleichgewichtsorgan ab. Obwohl die amerikanischen Astronauten einigermaßen von jenen vestibulären Symptomen verschont blieben, so hatten ihre russischen Kollegen auf fast jeder Reise Schwierigkeiten auf diesem Gebiet[98,99] (vgl. Kosmonaut Titov[16]) und daher wird Nachdruck auf die Lösung der Funktionen des vestibulären Rezeptorenmechanismus unter Schwerelosigkeit gelegt.

Schon 1949 kamen Tyler und Bard[95] zu dem Schluß "das Vestibularsystem spielt eine wesentliche Rolle bei der Entstehung der Bewegungskrankheit (Übelkeit) (=Motion Sickness)"; diese Feststellung bestätigte Graybiel[96] ebenfalls. Dagegen fährt Money[97] in seiner Aussage weiter fort, daß "der Vestibularapparat unentbehrlich für das Geschehen der Bewegungsübelkeit sei und daß unter gewissen Umständen die Bogengänge unentbehrlich seien; ebenso seien die Otolithen unentbehrlich." Frühe vestibuläre Schäden sind nach Meinung von Graybiel und Money der Grund für spätere Symptome auf diesem Gebiet, wobei für sie beide andere Ursachen für eine "Motion sickness" unwichtig erscheinen.

Berry et al.[81.18] gehen bei ihrer Studie der Frage nach, welche Veränderungen in der vestibulären Antwort unter Og-Bedingungen auftreten. Denn 9 der 25 Astronauten von den Apollomissionen 7-15 hatten schlechte vestibuläre Erfahrungen auf ihren Flügen gesammelt. Schon zu Beginn des Mercury-Programms dachte man, das Phänomen Bewegungsübelkeit mit Tigan und Marezine oral oder intravenös zu bekämpfen, aber man mußte keinen Gebrauch davon machen. Nur Glenn und Shepard erkrankten erst nach ihren Raumeinsätzen an vestibulären Störungen. Nach einem Sturz mit Verletzung in der Labyrinthgegend litt Glenn an Übelkeit, Vertigo und Nystagmus und einer wahrscheinlichen Hämorrhagie im Labyrinhtsystem nach Aussage der Röntgenbilder. Doch nach einiger Zeit klangen diese Symptome ohne Rückbleibsel ab und er nahm das Training wieder auf. Bei Shepard lag der Fall etwas anders, der über Vertigo klagte, die sich bei der Untersuchung als virale Labyrinthitis entpuppte. Später wurde es aber klar, daß er an Ménière'scher Krankheit litt, die nicht allzu wirksam medikamentös behandelt wurde. Vor dem Apollo 14-Flug wurde sein Leiden operativ durch einen endolymphatischen Shunt gelindert, der die Endolymphe in die cerebrospinale Flüssigkeit drainierte. Der Eingriff, der erfolgreich verlief, ließ Shepard asymptomatisch werden und weder vor, während und nach dem Flug zeigte der Astronaut irgendwelche vestibuläre Beschwerden.

Der erste Fall Bewegungsübelkeit trat bei der Apollo 8-Besatzung auf, die Beschwerden von Magensensationen bis Erbrechen hatte. Diese hielten etwa 5 Tage lang an und ihre Medikation erbrachte wechselnde Erfolge. Darauf hin wurde ein Preventionsprogramm entwickelt:

1. Instruktion in der Anwendung von Kopfbewegung, um eine schnellere vestibuläre Angleichung an den Og-Zustand zu erreichen.
2. Behandlung der Bewegungsübelkeit mit Dexedrine-Hyoscine, das eine stärkere Wirkung besitzt als das frühere Marezine.
3. Einführung eines strengeren Flugtrainings plus Luftkampfmanövers vor der Teilnahme am schwerelosen Raumflug.

Zu der Tabelle mit den Symptomen der Bewegungsübelkeit möchte ich einiges sagen. Also, die Apollo 8-Mannschaft litt daran, wobei der Astronaut E einige Stunden an Magenunbehagen laborierte, Astronaut F hatte ähnliche Symptome und Astronaut D ereilten die gleichen Beschwerden nach der Einnahme einer Seconalschlaftablette. Bei F traten nochmals die Symptome nach Seconal auf, wobei F und D damit gleichfalls auf der Erde schon ihre Erfahrungen gesammelt hatten. Trotzdem wurden diese Erscheinungen eher ihrer Gastroenteritis zugeschrieben, an der sie litten, als den Tabletten.

Bei Apollo 9 hatte Astronaut G weder eine Vorgeschichte noch sonstige Symptome auf dem Flug. Astronaut H hatte schon Bekanntschaft mit den Coriolisauswirkungen bei Gemini 8 gesammelt und jetzt hatte er ein Magendrücken vor dem Flug und Appetitlosigkeit bis zum zweiten Tag. Astronaut J nahm vor dem Start eine Marezine und 1 1/2 Stunden später nochmals eine. Trotzdem mußte er sich übergeben und litt die ersten sechs bis sieben Tage an Appetitlosigkeit. Die Untersuchungen vor dem Flug zeigten keinerlei Labyrinthabweichungen noch Empfindungen einer Bewegungsübelkeit, kurz, ihm fehlte die Anpassung an den Raumflug.

Bis Apollo 1o hatten also 5 von 9 Astronauten mit diesen Sympto-

TABLE I. ILLUSIONS AND MOTION SICKNESS SYMPTOMS EXPERIENCED BY APOLLO ASTRONAUTS

			Motion Sickness History			Illusions/Motion Sickness Symptoms in Space Flight			
Mission	Astronaut	A/C Flight Time Prior to Mission Noted	In Land, Air and Sea Vehicles	In Zero-G Parabola	In S/C Egress or Egress Training	Tumbling Illusions	Stomach Awareness	Nausea	Vomiting
7	A	4517	X						
	B*	4107	X	X	X				
	C*	3574	X		X	X			
8	D	5627	X				X	X	X**
	E	4358	X	X	X		X	X	
	F*	3399	X	X			X		
9	G	4323							
	H	4266			X	X	X		
	I*	2279	X	X	X		X	X	X
10	J	5221	X						
	K	4747	X						
	L	2787	X				X		
11	M	6400	X	X	X				
	N	4425	X	X	X				
	O	3676	X	X					
12	P	4057	X						
	Q*	3638							
	R	3914			X				
13	S(E)	4282	X	X	X				
	T*	6249					X	X	X
	U*	6135					X		
14	V	5063	X						
	W*	3594	X						
	X*	4276							
15	Y(H)	4780			X				
	Z*	6715		X		X	X		
	AA*	3370							

*Had no prior space flight experience. **Concomitant illness.

nach Berry [81]

men Bekanntschaft gemacht. Bei Apollo 1o war nur ein Besatzungsmitglied, das an Magenbeschwerden und Appetitlosigkeit litt. Bei Ausführung der vorgeschriebenen Kopfbewegungen bekam er das Übelkeitsgefühl bis kurz vor dem Erbrechen, wo er dann die Übung abbrach. Denn zuvor beeilte er sich, die Anpassung zu schaffen. Bei erneuten Versuchen wurden die Symptome schon nach einer Minute verstärkt. Nach zwei Flugtagen erreichte der Astronaut die völlige Anpassung, aber am 7. Tag führte er die Übung volle fünf Minuten aus und das verschwunden geglaubte Gefühl trat erneut auf. Bei Apollo 11 waren alle Beteiligten mit ausführlichen Vorgeschichten belastet, doch keinerlei Schwierigkeiten traten auf.

Bei Apollo 13 hatte nur einer eine Vorgeschichte, trotzdem zeigte er keine Symptome der Bewegungsübelkeit. Die anderen beiden litten entweder an Magensensationen einen Tag lang oder an Übelkeit und Erbrechen. Bei Apollo 14 wurde zwar eine Vorgeschichte von Bewegungsübelkeit verzeichnet, aber keine Schwierigkeiten auf dem Raumflug.

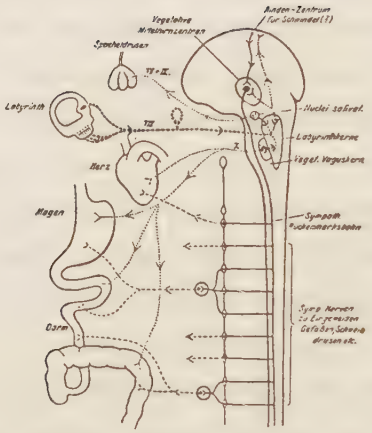
Bei Apollo 15 war nur einer ohne diese Symptome und außerdem hatte er weniger Flugstunden als die anderen beiden.

Daß ein emotionaler Faktor ebenfalls mitspielt, darf nicht übersehen werden wie z.B. bei einem Apollo7-Besatzungsmitglied. Auch sowjetische Forscher glauben an eine Beziehung zwischen diesem Faktor und der Bewegungsübelkeit.

Der Grund liegt eben auch in der Größenzunahme der Raumkapseln, die von der Mercurykonzeption über Gemini bis zur Apollokapsel stetig größer wurden und auch mehr Raum zu ausgiebigeren Bewegungen der Astronauten bot. Daß damit die Symptome der Bewegungs-

Übelkeit stärker in den Vordergrund traten, ist eine natürliche Folge unseres Gleichgewichtsapparats unter diesen Bedingungen. Aber eine Adaptation an die Schwerelosigkeit lief bisher immer noch in eine Aufhebung der Symptome hinaus (vgl. Abb.s.36a). Ein augenscheinlicher Unterschied zwischen dem oben Beschriebenen und den russischen Raumfahrterfahrungen mag die größere Betonung wiedergeben, die russische Forscher den vestibulären Abweichungen zukommen lassen.

Eine fast identische Untersuchung zu einer vorher erwähnten Studie[26] führte 1977 Krasnov[35] im Rahmen des Experiments k-1o4-Embryogenese von Fundulus heteroclitus durch, das Teil des USSR-US Programms für biologische Experimente war und mit einer Fischbrut durchgeführt wurde, die sich 19,5 Tage unter Og-Bedingungen an Bord von Biosatelliten Cosmos 782 entwickelte. Den Grund dafür bildete die Studie über die Einwirkung der Schwerelosigkeit auf die Funktion des Vestibularsystems und die damit zusammenhängenden Gehirnstrukturen (Vestibuläres Cerebellum, vestibuläre Nuclei). Man versuchte hinter die Ursache zu kommen, die für vestibuläre Veränderungen verantwortlich sind, die bei amerikanischen Astronauten und russischen Kosmonauten während der Raumflüge verzeichnet wurden und die Veränderungsmechanismen der Schwerkraftrezeption unter Og zu verstehen, die einen der Adaptationsmechanismen eines lebenden Systems bezüglich einer veränderten Umgebung bilden. Ebenfalls von Baumgarten et al.[37, 142,17o] und Campell[36] scheinen die Nachforschung vielversprechend am Fisch zu betreiben, besonders die Schlüsselstellungen bei der Bildung des vestibulären Systems (Entwicklung und Schluß akustischer Vesikeln, Auftreten der Otolithen). Bei dem Prüfen der Pri-



Darstellung einer Übersicht über das Auftreten von vegetativen Nauseassymptomen, die durch Untersuchungen in der Labyrinthphysiologie experimentell gesichert wurden.
nach Fischer,M.H.: Die Tiefenwahrnehmung, Zschr. Physiol., pg. 3-6, 1938

TABLE II. DEFATTED DRY SUBSTANCE CONTENT, LIPID CONTENT, AND CREATINE KINASE ACTIVITY IN THE EMINENTIA GRANULARIS CORTEX OF THE CEREBELLUM OF *FUNDULUS HETEROCLITUS* FLOWN ABOARD THE COSMOS-782 BIOSATELLITE (Experiment K-104).

Variants of the experiment	N of animals	Defatted dry substance content, %	Lipid content		Creatine kinase activity		P
			%	g/kg$_{DFDS}$ M±m	M/kg$_{DS}$/h M±m	M/kg$_{DFDS}$/h M±m	
Flight, zero gravity (K-1)	5	58.1	41.9	722.0±15.5	85.6±2.7	147.4±3.8	For creatine kinase activity K-1 and SE variants $p<0.05$. For others— $p>0.05$.
Flight, 1 G (K-2)	4	57.8	42.2	729.8±20.4	80.2±3.9	138.7±15.6	
Ground control, slow rotation (K-3)	5	57.7	42.3	734.9±28.5	75.3±5.2	130.6±9.0	
Ground control (K-4)	5	57.5	42.5	738.7±23.4	79.0±3.8	137.6±8.4	
Synchronous experiment (SE)	6	57.1	42.9	750.5±22.3	73.2±3.5	128.1±6.4	

nach Krasnov [35]

märfibrillen des Vestibularsystems muß gleichfalls eine Studie der ATP-Synthese angeschlossen werden, um die unter Schwerelosigkeit möglichen funktionellen Veränderungsmuster vorherzusagen. Aus diesem Grunde diente wiederum die Creatinkinase (CrK), der Inhalt entfetteter Trockensubstanz (DFDS) und Lipide im Cortex als Aktivitätsmaßstab. Die Creatinkinaseaktivität der Eminentia granularis betrug 128-147 M/kg DFDS/h, war verglichen mit den Rattenversuchen (CrK 133 M/kg DFDS/h) ziemlich hoch und deutet auf eine intensive ATP-Synthese hin. Der DFDS-Gehalt (57,1 - 58,1 %) und der Lipidspiegel (722-75o g/kg DFDS) waren vergleichbar mit denen der oben angeführten Untersuchungen. Der CrK-Anstieg in der funktionellen Aktivität dieser Strukturen betrug nach R+5 Tagen 15 % und kann wahrscheinlich aufgrund der Impulsationen der Gravitationsrezeptoren auf deren Effekte zurückgeführt werden, denen die Tiere mehr als 5 Tage nach der Landung ausgesetzt waren. Oder anders ausgedrückt, der Anstieg wird nach Rückkehr zu 1g als Hyperreaktion des unter Og-Bedingungen ausgebildeten vestibulären Cerebellums gewertet.

Um jetzt also ein künstliches Schwerefeld im Raumfahrzeug aufzubauen, besteht von Medizinerseits her keine Notwendigkeit, folgert Berry, trotz der auftretenden Symptome. Aber eines Tages werden wir uns sicher aus anderen Überlegungen heraus zu diesem Schritt entschließen.

Während Forscher wie Tyler und Bard[95], Reason[100], von Egmond, Groen und Jongkees[101,105] und Johnson[102] über eine positive Beziehung zwischen vestibulären Testen und Bewegungsübelkeit berichtet haben, gibt es aber auch solche wie Polyakov und Matveyev[103] und Dobie[104], die dies nicht bestätigen können. Ebenso

Money[97] folgerte einmal nach Überprüfen von 316 Studien, daß "das Wesen der Bewegungsübelkeit ein Geheimnis bleibt." Daher haben sich Clark und Stewart[14] einmal mit der Messung für Schwellenwerte bezüglich der Winkelbeschleunigung und ihrer Wahrnehmung und ihrer oculogyralen Illusionen befaßt. Das Ziel war, die Empfindlichkeit normaler Beobachter für Winkelbeschleunigung um ihre Abweichungsachse zu bestimmen. Benutzt wurde ein Ein-Freiheitsgrad-Simulator, der Beschleunigungen innerhalb kleiner Abweichungszonen bewerkstelligen konnte. Alle Beobachtungen für die Rotationswahrnehmung wurden bei Dunkelheit mit geschlossenen Augen gemacht. Eine zufällige treppenförmige Methode wurde für die 1o sec Reize verwandt. Die Schwellenwerte für die Rotationswahrnehmung reichten für die 53 Kandidaten von o,o5 bis 2,2o°/sec^2 mit dem Mittelwert von o,41°/sec^2. Die Werte für die oculogyralen Illusionen (32 Kandidaten) lagen bedeutend unter diesen Werten, nämlich von o,o4 bis o,28°/sec^2 mit dem Mittelwert von o,11°/sec^2. Daraus folgerten sie, daß normale Kandidaten äußerst empfindlich auf Winkelbeschleunigung um ihre Abweichungsachse reagieren, wenn optimale Testbedingungen herrschen.

Im Vergleich dazu lagen Groen und Jongkees' Daten[1o5] im Mittel um o,8o°/sec^2 bei einer Reichweite von o,28 bis 2,o°/sec^2 bei 3o sec Beschleunigungsdauer, Hilding[1o6] dagegen zwischen o,25 und 3,o°/sec^2 bei verschiedener Zeitdauer. Hierbei könnte nach der Auffassung von Clark und Stewart Adaptationseffekte mithereinspielen. Doty[1o7] meint, daß in 6-1o sec Reizdauer Minimum-Schwellenwerte erreicht sind.

Was die Faktoren für die Illusionseindrücke anbelangt, so weisen Howard und Templeton[1o8] Nystagmus als Ursache zurück und meinen,

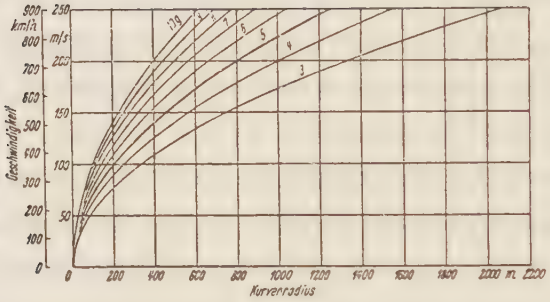
daß "die illusorische Bewegung Folge einer Falschbeurteilung der Körperbewegung während und nach der Rotation ist und diese Versuche liefern eine Palette von Bedingungen, die einer unidirektionalen Autokinesis dienlich sind." Daher sehen sie die Rotationswahrnehmung als den Urgrund, um oculogyrale Illusionen hervorzurufen. Clark und Stewart bejahen deren Feststellung mit dem Nystagmus, lehnen aber deren Vorstellung von der Rotationswahrnehmung ab, weil

1) nach deren Theorie[108] die Beobachter eher empfindlich sind für Gyroautokinese als für visuelle Autokinese, obwohl ihre Beobachtungen[14] gegenteiliger Natur sind.
2) Schwellenwerte für oculogyrale Illusionen sind weit niedriger als jene für die Rotationswahrnehmung und
3) oculogyrale Illusionen sollen nachhaltigere Wirkungen hervorrufen als die Rotationswahrnehmung.

Weiterhin wird festgestellt[14], daß die oculogyralen Illusionen die Rotationswahrnehmung und der Nystagmus auf signifikante Art verschieden sind. Aus den Unterschieden zwischen den 3 Indikatoren der semicirculären Kanäle wird klar, daß der Nystagmus aufgrund seines neurologischen Mechanismus, gekoppelt mit dem Vestibularapparat in wichtiger Hinsicht unterschiedlich ist von den anderen beiden, die zwar nicht so gravierende Unterschiede besitzen, aber immerhin einen deutlichen. Für Piloten bedeutet dies, daß er z.B. mit dem Vestibularsystem Informationen bezüglich Körper und ebener Rotation erhält und ihm mit dem visuell-vestibulären System die Bewegung des Flugzeugs und visueller Objekte im Raum zugeführt wird.
Aufgrund dieser beiden Informationen, die ständig zugeführt wer-

den, reagiert der Pilot so überaus empfindlich auf die Winkelbeschleunigungen, wobei er nur die falsche Information herauszufiltern lernen sollte.
Neben den oculogyralen Eindrücken gibt es auch die oculogravische Scheinbewegung, die sich via Otholiten aus einer scheinbaren Lageveränderung der Gegenstände im Gesichtsfeld zusammensetzt. Denn die Otholiten werden dabei durch eine Beschleunigung gereizt, die eine andersgeartete Resultante mit der Erdschwerkraft ergibt. Ebenfalls einen anderen wichtigen illusionären Eindruck vermittelt das Fliegen von Kurven geringen Radius und von einer Summation der Fliehkräfte, der als ein vermeintlicher Steigflug empfunden wird. Der Grund dafür ist an und für sich der erhöhte Anstellwinkel des Flugzeugs (vgl. Graphik S.4oa).

In einer anderen Studie[1o9] beschäftigten sich Clark und Stewart mit der Determination der Schwellenwerte für die Rotationswahrnehmung und der oculogyralen Illusion von Piloten und Nichtpiloten. Denn andere Arbeiten[11o,111] zeigten, daß rotatorische Bewegungsinformation eine wirkungsvolle Leistungssteigerung bei Piloten zur Folge hat. Daraus wurde auch vermutet, daß Bewegungseingabesignale wichtig sind für den Flug und die Determination der Grenzen für die Basisempfindlichkeit sollte bezüglich Bewegungseingabesignale, die unter optimalen Bedingungen stattfanden, sowohl praktische als auch theoretische Bedeutung besitzen.
36 Piloten und 56 Nichtpiloten wurden getestet und ein stufenförmiges Verfahren zur Bestimmung der oculogyralen Illusionen und der Rotationswahrnehmungswerte wurde verwandt. Die Ergebnisse zeigten:



Darstellung des Auftritts von Beschleunigung unterschiedlicher Größe und Zeitdauer, die durch Veränderung des Kurvenradius bei Flugmanövern (abwärts gerichtete Steilspiralen) erzielt wird. Dabei gleichzeitige Demonstration des Schwarzen Schleiers bei dem Sehorgan gemäß Ruff-Strughold

1. Es gibt keine bedeutenden Unterschiede zwischen den beiden Gruppen für beide Schwellenwertmessungen.
2. Die Schwellenwerte der oculogyralen Illusionen waren eindeutig niedriger als die der Rotationswahrnehmung bei beiden Gruppen.
3. Die Veränderungen in den Schwellenwerten als eine Funktion des Alters waren gering für 91 der Beteiligten, denn die Ergebnisse für beide Indikatoren der vestibulären Funktion lassen eine kleine Veränderung bezüglich der Empfindlichkeit mit dem Alter vermuten. Ebenfalls trotz der höheren Werte in den oberen Altersgrenzen gibt es keine scharfe Verminderung in der Bogengangsfunktion unter der Altersgrenze von 62 Jahren. Hauptsächlich ist dies nur dann der Fall, wenn die Piloten älter werden und mehr Flugstunden absolviert haben. Der beste Indikator, so vermuten schließlich die beiden Autoren, besonders für Piloten, ist die oculogyrale Illusion.

Über Effekte von Bewegungsübelkeit berichteten 1973 ebenfalls Clark und Stewart[112] in der Arbeit, in der sie mit fünf subjektiven Testen bezüglich der vestibulären Funktion Berichte über Erfahrungen mit Bewegungsübelkeit verglichen. Ihre Ergebnisse erhielten sie von 35 Piloten und 51 Nichtpiloten und gleichfalls von 122 Männern und 149 Frauen der California State Universität, die Erfahrungen bezüglich dieser Symptome hatten. Die Messungen ergaben, daß die Pilotengruppe bedeutend weniger Bewegungsübelkeit zeigte als die 3 anderen Gruppen.
Bei diesen Testen berichteten die Piloten über die gleiche niedrige Auftrittshäufigkeit vor und nach dem Alter von 12 Jahren, während die anderen 3 Gruppen eine geringere Häufigkeit nach dem

12. Lebensjahr verzeichneten. Drei Schwellenwertmessungen zeigten für die Rotationswahrnehmung sehr niedrige und unbedeutende Beziehungen zu Berichten über Bewegungsübelkeit. Die cupulometrische Messung für die 3 Hauptkörperachsen enthüllte, daß nur für die Z-Achse eine signifikante Beziehung zu jenen Symptomen bestand.

Einige Forscher[101,108] schrieben, daß scharfe Anstiege in der nachhaltigen Wirkungsdauer von Winkelbeschleunigung jenseits des Beschleunigungsniveaus, z.B. steilere Abfälle in den Cupulogrammen, mit verstärkter Bewegungsübelkeit verbunden sind.

Ihr vestibuläres Fazit lautet:

1) Das Vestibularsystem besitzt eine bedeutende Rolle beim Hervorrufen von Bewegungsübelkeit.
2) Große individuelle Unterschiede in der Empfindlichkeit sowohl für Bewegungsübelkeit als auch vestibuläre Antwort.
3) Hohe Empfindlichkeit auf Rotationsbeschleunigung per se ist von geringer oder keiner Bedeutung beim Entstehen der Bewegungsübelkeit bei Normalpersonen.
4) Gewisse Supragrenzwerttests, die über die Arbeitsweise des ZNS auf vestibuläre Inputs Auskunft geben, haben anscheinend berechtigten Anspruch bei der Vorhersage von Bewegungsübelkeit.

Die Daten lassen vermuten, daß individuelle Grenzwertmessungen keinerlei Wert besitzen, um Bewegungsübelkeit vorherzusagen und zu verstehen. Andererseits aber geben die Versuche einige Anzeichen des Zentralnervensystems wieder, die Vorgänge vestibulärer Inputs darstellen. Deshalb haben sie auch die besten Aussichten, signifikante Entdeckungen hinsichtlich der Ursachen zu machen.

Das Gefühl der Selbstbewegung bei Betrachtung von bewegten oder rotierenden Bildern ist schon seit langem bekannt, bei dem sich die Beobachter in entgegengesetzter Richtung bewegen. Ein 360° Flugsimulator wurde von Young et al.[113] benutzt, um die Empfindungen der Neigungs-, Roll- und Abweichungsreize und die visuell-vestibulären Interaktionen bei verschiedenen Kopforientierungen (Kopf erhoben, vorwärts, Kopf mit rechtem Ohr geneigt und umgekehrt) zu untersuchen. Beständige Abweichungsrate und Ausbildung eines konstanten Rollkippwinkels, die sich bei erhobenem Kopf und bei beständiger Beschleunigung unter Abweichungs- und Rollreizen entwickelten, bestätigen frühere Berichte. Neigungsreize riefen auch ein Kippgefühl nach einem bestimmten Neigungswinkel hervor, der eine stärkere Ausprägung für Vorwärtskippen als für Rückwärtskippen besaß.

Neigungs- und Rolleffekte waren stark abhängig von der Kopfstellung: mit einer Verstärkung, wenn sich der Kopf um 90° zur Seite drehte oder umgekehrt, und mit einer Abschwächung, wenn sich der Kopf um 25° nach vorne neigte. Dabei ist die Hauptebene der utrikulären Makula fast horizontal. Geometrisch gesehen würde daher utriculäre Empfindlichkeit am höchsten sein. Das Kippen des Kopfes um 90° versetzt die Utriculareebene in die Vertikale und läßt die Utriculären Otolithen am geringsten empfindlich sein für Veränderungen der Körperstellung. Doch diese Hypothese zählt nicht bei der gestiegenen Empfindlichkeit für visuelle Neigungs- und Rollreize mit umgekehrter Stellung des Kopfes. Diese Ergebnisse stützen daher die Hypothese, daß die Stärke von Neigungs- und Rollillusionen von der Kopfstellung unter Bezug auf die Vertikale abhängt. Oder anders ausgedrückt, daß visuell herbeigeführtes

Kippen durch den Konflikt mit der Otolitheninformation begrenzt wird.

In diesem Zusammenhang ist auch die Untersuchung von Benson[186] von Interesse. In etwa einem Drittel der untersuchten Fliegerbesatzungen traten illusorisches Wahrnehmungsvermögen der Höhe und Bewegung dann ein, wenn das Flugzeug gerade und auf gleicher Höhe flog und was allgemein als räumliche Desorientierung bezeichnet wird. Aus den Berichten wird auch klar, daß diese Gefühle von den Piloten während monotoner Flugphasen in großen Höhen auftreten und die Häufigkeitsrate von 13,5 % (Lomonaco[187]) bis 35 % (Clark and Graybiel[188]) reichen. Benson stellt fest,daß seine Ergebnisse mit denen von Sours[189] übereinstimmen, daß nämlich das "Absturzgefühl" (Break-off) eine Übereilung von Angstreaktion in dafür empfänglichen Personen sein könnte. Die Induktion zu diesem Gefühl sind einmal die geringen Orientierungshinweise im äußeren Sichtbereich und zum anderen die ziemlich konstante Flugroute. Der Autor dieser Studie kommt zu dem Schluß, daß das Hauptmerkmal des "Absturzgefühls" entweder eine Übereilung oder Manifestation einer Angstneurose sein kann.

Die Bewegungskrankheit teils aus dem Blickwinkel des psychologischen und psychiatrischen Aspekts teils aus organischer Sicht behandelt Ryback et al.[114], wobei er sich der Auswertung der SAM von 1962-1969 bezüglich dieser Erfahrungen an 49 Fällen bedient. Der typische Grund für die Untersuchung ist meist ein junger Navigator oder Pilot, der eine ziemlich umfangreiche Vorgeschichte von Bewegungsübelkeit und verstärkter Empfindlichkeit gegenüber Coriolisreizung hat. Aufgrund der Vorgeschichte und Labor- und anderer Untersuchungen wird die Ätiologie entweder nach psycholo-

gischer oder organischer Natur eingeteilt; die Untersuchungen umfassen Audiogramm, EEG, Kipptisch, kalorische Tests (22 Fälle nach dem Kobraktyp mit 5-1o cm^3 Eiswasser und 25 Fälle nach der Fitzgerald-Dix-Hallpike-Methode mit Wasser von 3o°C und 4o°C in jedes Ohr), Coriolisstimulation, Zentrifugenläufe, F-1oo Fahrten und Blutproben. Bei den kalorischen Testen zeigten 6 Patienten verstärkte Vestibularantwort, von denen 3 Fälle Übergewicht besaßen und bei 3 Fällen Symptome der Bewegungskrankheit während der kalorischen Reizung auftraten. 71 % hatten eine positive Vorgeschichte, 39 % Symptome besonders bei turbulenten Einsätzen und Tiefflugmissionen und mit Luftkampfmanövern; starke Angst und/oder Somatisation, und/oder phobische oder gegensätzliche Tendenzen bei 24 %, geringe Motivation bei 2o % und 18 % mit Ansprechung auf Medikamente wie Dramine, Phenergan, Meclizine oder Bonine. Zu erwähnen ist in diesem Zusammenhang, daß Gegenmittel zur Bewegungskrankheit wie synthetisches Belladonna, Monoaminoxidasehemmer und einige der Phenothiazine weniger als 5o % wirksam waren (Wood et al.[115]). Von den beschriebenen Kategorien nach Ryback ("rein organisch, organisch-psychiatrisch und rein psychiatrisch") möchte ich nur den organischen Fall herausgreifen:

31jähriger Pilot mit 15oo Flugstunden und in der Vorgeschichte Skiunfall mit Kopfverletzung rechts durch einen Baumstumpf. Dabei war er bewußtlos für ein oder zwei Minuten, danach schwindlig und hatte Übelkeitsgefühl. Anhaltende Kopfschmerzen trotz Aspirinmedikation. Keine Meldung seines Unfalls beim Fliegerarzt und 3 Tage später Übelkeit und Erbrechen nach einem Helicopterflug als Passagier. Die fliegerärztliche Untersuchung verlief negativ. Danach folgten noch zwei Episoden mit Erbrechen (als Passagier

und bei Flugmanöverausführung) und die nächste in einer B-52, in der er bei Landeanflügen und beim Einschwenken sehr schwindlig wurde und sich dreimal sehr stark erbrach. Seit dem Unfall hatte der Patient in der Funktion als Pilot keine Symptome, da er jedes Übelkeit erregende Manöver vermied. Psychiatrische Untersuchung ergab vorübergehende Fehltritte seines Informationsfundus, was seiner Kopfverletzung zugeschrieben wurde. Psychologische Tests enthüllten eine milde Schwierigkeit bei der Erinnerung, Beharrlichkeit beim Rorschachtest und milde psychomotorische Aspekte, die eine leichte organische Veränderung anzeigten. Die Vestibularuntersuchung deckte die Tendenz der Entwicklung einer Bewegungsübelkeit auf, besonders beim Coriolistest, während dem Blässe, Schwitzen, epigastrische Gefühle und Übelkeit auftraten. Dabei wurde als Diagnose ein akutes Hirnsyndrom als Folge des Traumas und der Bewegungskrankheit beim Fliegen festgestellt.

In einem anderen Fall (Kategorie "organisch-psychiatrisch") hatte der Patient seine leichte chronische Bewegungsübelkeit verborgen, bis er auf einem andern Flugzeug eingesetzt wurde, das ihm ganz und gar nicht paßte, und seine Symptome kamen voll zur Geltung. Also bedeutet auch ein neues Flugzeug, daß sich das Vestibularsystem den neuen nervalen Signalen anpassen muß, die sich durch die unterschiedlichen Flugcharakteristika eines Flugzeugs ergeben. Ryback empfiehlt daher eine ausführliche otolaryngoskopische Prüfung einschließlich vestibulärer Funktionstests bei der Musterung und rät den Flugzeugkonstrukteuren, an die visuellen Input-Reize der Navigatoren zu denken.

Eine fast ähnliche Untersuchung wie Clark und Stewart[109,112]

führten Newsom und Brady[116] durch, um die Desorientierung und die sich ergebende Leistungsminderung zu erforschen, die eintreten, wenn Kopfwendungen in Ebenen durchgeführt werden, die zur Drehebene geneigt sind. Anläßlich des Symposiums[118] im Jahre 1965 zeigte man großes Interesse an der Anwendung von Simulatoren gewonnenen Daten und von unter 1g Bedingung ausgeführten vestibulären Untersuchungen auf die Situation eines sich drehenden Raumfahrzeugs unter Og-Verhältnissen. Denn unter dieser Gegebenheit werden die Kopfbewegungen eines stehenden Besatzungsmitglieds um die Z- oder Spinalachse dergestalt sein, daß sie senkrecht zur Drehebene sind. Solche Bewegungen rufen höchste Coriolisbeschleunigung des Labyrinthsystems hervor (vgl. Abb. s. 47/48 a).

Der Grund für die Autoren war auch

1. der Vergleich der Desorientierung bei Kopfdrehung (Z-Achsenbewegung) mit jenen aus dem Kopfnicken (Y-Achsenbewegung).
2. Quantifikation dieser Desorientierung als Funktion des Winkels, der die Ebene der Kopfdrehung von der der Drehebene trennt und
3. Untersuchung in der Ausführbarkeit der Anpassung hinsichtlich der Kopfbewegung bei diesen verschiedenen Orientierungen.

Stets waren schon die Corioliseffekte auf das Labyrinth von besonderem Interesse von Graybiel etal.[117,118] gewesen. Die Ergebnisse der Autoren lauteten, daß während der Rotation Kopfbewegungen um die Y-Achse bedeutend leichter und weniger traumatisch verliefen als um die Z-Achse bei 12,2 rpm. Eine Anpassung schien viel eher vonstatten zu gehen, wenn die Kopfbewegung fast in Höhe der Drehebene ausgeführt wurde. Gleichzeitig wurde sie auch schwieriger, da sich der interplanare Winkel vergrößerte. Ein in-

terplanarer Winkel von 45° wurde als erträglich gefunden für Kopfbewegungen auf der Y-Achse bei 12,2 rpm, aber nicht für die Bewegungen auf der Z-Achse, die einen entscheidenden Leistungsabfall und Übelkeit bei einigen Probanden hervorriefen. Auf Grund der Leistungsergebnisse war eine 45°-Drehung auf der Y-Achse angenehm, während eine 90°-Drehung auf der Y-Achse, eine 45°-Drehung und 90°-Drehung auf der Z-Achse eine signifikante Desorientierung, einen Leistungsabfall und Übelkeit ergaben.Da sich dabei die Untersuchten häufig über getrübtes Sehvermögen und Fixierungsunvermögen beklagten, ging Newsom[119] der Frage nach, ob der Rotationsnystagmus bei dem Leistungsabfall mitwirkt, in dem er die oculomotorischen Antworten maß während des gleichen Untersuchungsvorgangs, wie oben aufgeführt[116].

Obwohl abhängig von der Ergänzung vieler neuraler Inputs, sind die oculomotorischen Reflexe in erster Linie Antworten und Reizungen der Bogengänge. Denn der kanalikuläre Reiz ist die Winkelbeschleunigung. Bei Leuten mit bilateralem hyposensiblem Labyrinthsystem fehlen diese Reflexe teilweise oder gänzlich. In einer sich drehenden Umgebung, wie z.B. einem Raumfahrzeug, setzen sich die Bogengangsreize nicht nur aus der herkömmlich bekannten Winkelbeschleunigung zusammen, sondern auch aus jenen Beschleunigungen, die sich aus der Querkoppelung der zwei Winkelgeschwindigkeiten ergeben. Die sich ergebende Winkelbeschleunigung ist das Produkt der Winkelvektoren und ihre Richtung ist orthogonal zu den Ebenen der Rotationsumgebung und der Kopfbewegung.

Die Ergebnisse zeigen einen relativen augenfälligen Anstieg der führenden Augenbewegung (LEM). Andererseits ist eine antikompen-

Bei 12,2 rpm zeigt die resultierende Kraft senkrecht auf den Boden, wenn der Raum um 45° geneigt wird, wie die Experimentanordnung zeigt. Bei allen Stellungen war die Z-Achse des Probanden 45° zu dem resultierenden Trägheitsvektor ausgerichtet, zwar auch in der Drehebene in der Position 1, 45° in der Drehebene bei Position 2 und senkrecht zur Drehebene in Position 3.

Der interplanare Winkel zwischen der Ebene der Kopfbewegung (Z oder Y) und der Zentrifugendrehebene konnte von 0 bis 90° durch bloßes Drehen des Stuhles angepaßt werden.
nach Newsom[15,116]

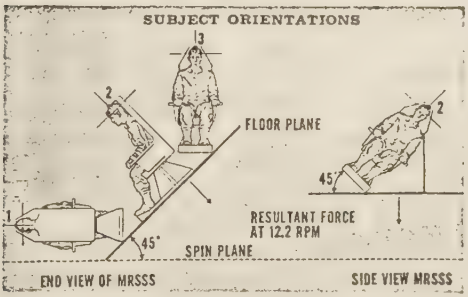


Fig. 4. Biaxial head-turn test: Relation of plane of Y- and Z-axis head turns to plane of MRSSS spin.

TABLE I. ORIENTATION ANGLES AS FUNCTIONS OF SUBJECT POSITION

Subject Orientation to MRSSS Motion	Position	Between spine and resultant	Between head turn plane and spin plane	
			Z axis	Y axis
Forward	1	45°	90°	0°
Backward	3	45°	0°	90°
Toward Center of Rotation	2	45°	45°	45°

satorische Antwort des oculomotorischen Systems als Orientierung der verstärkten Betonung der Kopfbewegung (verstärkte gyroskopische Querkoppelung) durch den Probanden aufgetreten. Ob nun dieser signifikante Anstieg von einem absoluten Anstieg der LEM-Bewegung oder einer Reduktion bei der kompensatorischen Kontrolle herrührt, ist zweifelhaft. Aber augenscheinlich hängt die sich ergebende Verzögerung bei der visuellen Fixierung direkt mit dem Leistungsabfall und dem verstärkten vegetativen Unbehagen zusammen.

Mit der steigenden Zahl der Raumflüge erhöhen sich auch die Anforderungen an das Vestibularorgan, die sich aus den beständigen und langsamen Rotationsbewegungen in Raumflugobjekten mit Coriolisreizungen ergeben. Dabei haben sich damals bei den Vorbereitungen sowohl Amerikaner als auch Russen vorwiegend auf die Testung der horizontalen Bogengänge versteift. 1963 entwickelte Decher[10] eine Methode zur getrennten Untersuchung und Stimulation der vertikalen Bogengänge, wodurch ihre Rotationsschwellenwerte und ebenfalls der postrotatorische Nystagmus bestimmt werden können. Vorallem fand diese Testuntersuchung bald darauf Eingang in die Testreihen der Raumfahrtprogramme.
Die Schwellenwertteste der horizontalen und vertikalen Bogengänge bei gleichzeitiger postrotatorischer Nystagmusaufzeichnung lassen eine isolierte Einzeltestung aller sechs Bogengänge zu. Das Minimum an Rotationsbeschleunigung und Verlangsamung, die den perrotatorischen Nystagmus ansteigen lassen, stellt die Reizschwelle dar, die für alle sechs Bogengänge bestimmt wird. Dechers Testtechnik[12o] stützt sich auf Montandons Ausarbeitungen[12,121], um die horizontalen Bogengänge zu reizen. Seine Methode besagt, daß der liegende Proband, dessen Kopf mit einem

"Römerhelm" fixiert wird, so gedreht wird, daß das entsprechende Bogengangspaar durch Einbringen in die Drehebene angestachelt wird. Dabei werden die Reaktionen mit dem Photoelektronystagmographen (PENG) oder mit dem Elektronystagmographen (ENG) aufgezeichnet. Bei den Ableitungen für die vertikalen Kanäle bleiben die Augen geöffnet, da die meisten Leute (fast 80 %) zu einem spontanen vertikalen Nystagmus bei geschlossenen Augen neigen. Gleichzeitig machten sie bei ihrer Studie die Entdeckung, daß die aufgezeichneten Wellen der vertikalen Bogengänge im Mittel doppelt so hoch waren als die der horizontalen Kanäle. Der Autor führte dies aufgrund des höheren biologischen Werts der horizontalen Kanäle, soweit es den Mensch betrifft, auf dessen aufrechte Lebensweise zurück, wobei er sich auf Rossberg[122,123] stützte. Dechers Ergebnisse wurden von Güttich und Hazeyama[124] bestätigt. Die kalorische Vestibularprüfung sollte stets mit dieser Untersuchung verbunden sein, denn dabei können schwache Reaktionen, die noch innerhalb physiologischer Grenze liegen, hyperreaktive Vestibularzustände mit äußerst niedrigen Reizschwellenwerten und ein unverhältnismäßig verstärkter postrotatorischer Nystagmus festgestellt werden. Aufgrund eines detaillierten Untersuchungsvorgangs, der getrennt die Reizbarkeitcharakteristika aller sechs Bogengänge bestimmt, schätzt Decher seine Methode als einen annehmbaren Fitnesstest für Astronauten, bei denen ein intaktes Vestibularsystem von höchster Wichtigkeit ist.

Schon Ziolkowski[129] schrieb, daß die Wahrnehmung in schwerelosem Zustand die Relation Oben-Unten im Raumschiff aufhebt, "da es keine relative Schwere gibt", sondern nur anfangs diese subjektiven Empfindungen bestehen bleiben, die aber durch Gewöhnung bald verloren werden.

Von großem Interesse war natürlich das Problem, wie ändert sich die Empfindlichkeit der Bogengänge gegenüber Beschleunigungen unter Og-Bedingungen. In diesem Zusammenhang möchte ich auf die Studie von Jackson und Sears[137] verweisen. In dieser Untersuchung[137] wurden die Probanden einer Angularacceleration auf der vertikalen Achse während der Schwerelosigkeit auf einem parabolischen Flug unterworfen. Die Ergebnisse zeigten, daß Bogengangsreizung unter diesen Umständen einen Nystagmus sowohl während als auch nach der Rotation hervorruft. Amplitude und Frequenz der perrotatorischen Antwort überstieg die der postrotatorischen, und während der kurzen Übergangszeit trat offenbar kein Nystagmus auf. Ebenso bestätigte diese Studie frühere Untersuchungen bezüglich des Mechsnismus des cupulo-endolymphatischen Systems, in denen Angularbeschleunigung von Angulardecceleration mit kleiner oder keiner Periode konstanter Angulargeschwindigkeit abgelöst wird. Das Result war, daß während Schwerelosigkeit ein Nystagmus durch Angularbeschleunigung auf der vertikalen Achse hervorgerufen werden kann, wobei betont werden muß, daß der Reizauslöser auf die Otolithen, die Gravitationskraft, fehlte (vgl. Abb. s. 51a).

Denn bei plötzlicher Bremsung tritt das Phänomen des sogenannten Nachnystagmus oder postrotatorischen Nystagmus ein, der entgegengesetzt ist zu der durchgeführten Drehrichtung. Die Erklärung hierfür ergibt sich aus der umgekehrten Cupulabewegung durch die noch andauernde Endolymphfluktuation. Die Zeitspanne dieses postrotatorischen Nystagmus ist von der Stärke des Drehreizes und der Geschwindigkeit der Abbremsung abhängig. Das Erscheinungsbild des Nystagmus kann grob- oder feinschlägig sein. Ebenso läßt es

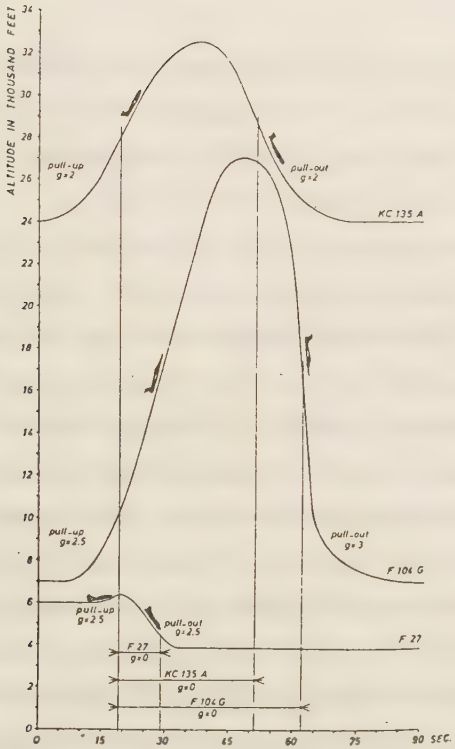


Fig. 4. Comparison of parabolic flights performed by KC 135 A (Boeing 707), F27 (Fokker Friendship) and F-104-G (Lockheed Starfighter).

nach Oosterveld [133]

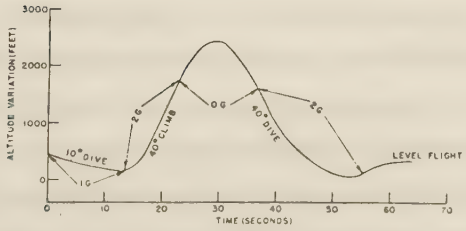


Fig. 1. Typical parabolic flight maneuver with a 2 g entry to the weightless period.

nach Jackson and Sears [137]

sich aufgrund der Reflexbogenverbindung mit den Augenmuskelkernen entweder als horizontale Augenbewegung bei Erregung des horizontalen Bogengangs oder als vertikale Augentätigkeit bei vertikaler Bogengangsreizung registrieren.
Kolossow et al.[130] arbeiteten so, daß der Proband im Barany'Drehstuhl saß, 30° nach vorne gebeugt und die Augen verbunden, und wurde 20 Sekunden um 180° bewegt. Dabei wurde nur die Empfindlichkeitsschwelle gegenüber der Beschleunigung zu Drehbeginn festgestellt. Bei Nichtwahrnehmen der Drehung wurde nach 3-5 Minuten Unterbrechung eine erneute Bewegung um 360° während 15-20 Sekunden ausgeführt. Die Drehgeschwindigkeit bei den einzelnen Probanden entsprach dem während eines Normalfluges als Reizschwellenwert gegenüber Beschleunigung gewonnenen Wert. Die Auswertung ergab eine Veränderung der Schwellensensibilität gegenüber horizontalen Winkelbeschleunigungen im Zeitraum der dynamischen Schwerelosigkeit und ebenfalls in einer Verlängerung der Zeitdauer, die für die Ermittlung des Drehbeginns nötig war. Kurzum, die Reizbarkeit der Rezeptoren in den Bogengängen nahm ab. Die Latenzzeit verlängerte sich im Mittel um 3-11 Sek., also um das 1,7 fache gegenüber den Anfangswerten, während bei Wiederholung der Flüge eine Neigung zur Zeitabnahme bestand, die 3-4 Sek. ausmachte. Der Gewichtsverlust der Otolithen unter Schwerelosigkeit bewirkt eine Verminderung seiner stimulierenden Einwirkungen, was unter irdischen Bedingungen das Gegenteil ist, und führt zu einer Anhebung der Reizschwelle der horizontalen Bogengänge bei Winkelbeschleunigungen. Weitere Experimente mit dem Drehwinkel ergaben, daß die dabei auftretenden Fehler auf der Erde und beim Horizontflug übereinstimmten, da sie sich in dem ersten Versuch auf $\pm$ 10° - 20° und beim zweiten Versuch auf

± 15° - 25° beliefen. In schwerelosem Zustand wurde eine starke Zunahme der Fehler verzeichnet, so z.B. im ersten Versuch bei 90°-Drehung ungefähr 20° - 30°, bei 180° - 360° Drehung schon bis 35° - 70° und beim zweiten Versuch betrug die Fehlbestimmung des richtigen Drehwinkels sogar manchmal bis zu 270°. Bei erhöhter Reizschwelle erhält das ZNS weniger Reize, wenn sich der Untersuchte um den selben Winkel dreht wie beim Horizontalflug, was dann zu einer falschen Einschätzung des Drehwinkels führt. Gleichzeitig erfolgt eine spätere Wahrnehmung des Drehbeginns, d.h. gleichfalls eine subjektive kürzere Drehzeit und kleinerer Drehwinkel, als es den Tatsachen entspricht.
Daher wurde die Wirkung des geringen Informationsflußes von den Bogengängen noch mehr verstärkt. Bei dem Übergang von den hohen g-Belastungen zu Og-Umgebung war der Kosmonaut Titow der Täuschung erlegen, sein Körper verlagere sich mit dem Kopf nach unten, ebenso eine Verschiebung der Kontrollen; die Illusionen gaben sich doch bald darauf. Diese räumlichen Verschiebungen erklärte Gorbow so, daß kurz vor dem O-g Zustand äußere Krafteinwirkungen auf den Kosmonaut oder Astronaut einwirken, die das Gefühl "in den Sessel gepreßt werden" vermitteln und daher ein Reaktio der Muskeln hervorruft. Bei Nichtnachlassen dieser muskulären Anstrengung tritt diese Täuschung auf, mit Kopf nach unten oder auf dem Rücken zu fliegen, die bei rechtzeitiger Muskelerschlaffung fehlt. Trotz optischer und taktiler Orientierungshilfen, vorangegangenem Trainung und einem Fehlen der richtigen Entzerrung entstellter Otolitheninformationen können manchmal illusorisch unrichtige Körperlagen im Raum eingenommen werden.
Die Kosmonauten Jegorow und Fekotistow hatten dabei das Gefühl,

zum Einen in halbgebückter Stellung mit dem Kopf nach unten zu hängen, zum Anderen mit dem Kopf nach unten gedreht zu sein. Dieser Eindruck machte sich sowohl bei geschlossenen als auch offenen Augen bemerkbar ohne Änderung seines Charakters. Aber eine Beeinträchtigung ihrer Versuchsdurchführung trat nicht ein. Neben der Empfindung für Oben und Unten, die bei offenen Augen dann gestört war, wenn von der Raumkapsel aus der Sternenhimmel unten und die Erdoberfläche oben zu sehen war, wurde im Schwerelosigkeitsbassin die subjektive Raumorientierung bei Kosmonauten untersucht. Ich gebe ganz einfach Nikolajews Eindrücke dabei wieder: "Nach Beginn der Bewegung und Schließen der Augen (5-1o Sek.) beurteilte ich beim ersten "Gipfel" im Zustand der Schwerelosigkeit nach dem Gedächtnis meine Lage im Raum. (Zu Beginn noch klare Vorstellungen des Geschehens) Dabei hatte ich das Gefühl, daß sich außer der Verlagerung meines Körpers längs des "Bassins" auch noch eine Drehung meines Körpers nach rechts vollzog. Nach meiner Vorstellung mußte ich mich etwa in der Mitte des "Bassins" befinden und um 75° bis $9o^{\circ}$ gedreht haben. Als ich meine Augen öffnete, wunderte ich mich, daß ich mich in Wirklichkeit an der rechten Wand des Flugzeugs befand und um $18o^{\circ}$ gedreht war und jetzt mit dem Gesicht zur Dekke blickte. Beim zweiten "Gipfel" hielt ich die Augen etwa 1o Sek. geschlossen. Nach 4 bis 6 Sekunden konnte ich mir keine Vorstellung mehr von meiner Lage im "Bassin" machen. Ich verlor die Orientierung. Als ich die Augen öffnete, befand ich mich im hinteren Teil des Flugzeugs und hing mit dem Kopf nach unten". Das gleiche Problem trat auf bei der Bestimmung der räumlichen Stellung nach Drehung um die Längsachse.

Daß auch der allseits geschätzte Alkohol seine Wirkung auf das Vestibularsystem hat, zeigten schon Flourens[131] als auch Barany und Rothfeld[132], ebenso Oosterveld[133] und Ryback und Dowd[134].

Bei Oosterveld's Experimenten wurde die veränderte Wirkung der Schwerkraft auf den Positionsnystagmus durch Alkohol (PAN) untersucht. Schwerelosigkeit, durch ein parabolisches Flugmanöver (vgl. s.51 a) erzeugt, hob sowohl PAN I als auch PAN II auf, wobei PAN I in Tier und Mensch induziert werden kann, aber PAN II nur beim Menschen. Höhere g-Werte verstärkten die Geschwindigkeit der langsamen Komponente von PAN. Zu der Zeit, als PAN verschwunden war, konnten höhere g-Werte einen alkoholisch bedingten Nystagmus bis zu 48 Stunden nach Alkoholaufnahme provozieren. Schwerelosigkeit aber für einige Sekunden hob diesen Nystagmus für den Zeitraum mehrerer Minuten auf. Der Reizschwellenwert, um PAN I und II auszulösen, scheint im schwerelosen Zustand anzusteigen. Zunehmende Schwerkraft erniedrigt die Reizschwelle, um PAN I und II hervorzurufen. Der Autor kam zu dem Schluß, daß

a) PAN nur in Gegenwart der Schwerkraft ausgelöst werden kann und
b) Alkohol eine viel länger anhaltende Wirkung gegenüber dem Vestibularsystem hat, als bisher angenommen wurde.

Bezüglich Oosterveld's Punkt b) hat die Untersuchung von Ryback et al.[134] meiner Meinung nach viel Ähnlichkeit. Gerade im Hinblick auf die hohe USAF Flugzeugunfallzahl von 28 % mit eingeschränktem Sehvermögen und räumlicher Desorientierung wurde die Nachwirkung von Bourbon und Wodka beobachtet und Positions- und Coriolisnystagmus aufgezeichnet. Probanden waren Piloten, nichtfliegerisches Personal und an Coriolisreize gewohntes Personal.

Das Experiment zeigte, daß der Positionsnystagmus durch Alkohol (PAN) auftrat, aber die gewöhnliche Regel von PAN I und II nicht beobachtet wurde. Ein Anstieg bei Coriolisnystagmus wurde verzeichnet und anscheinend besitzt Bourbon eine stärkere Wirkung 34 Stunden nach Einverleibung als Wodka. Daneben wurden auch Einflüsse des Alkohols auf den Schlaf, besonders auf den REM-Schlaf bemerkt. In Zusammenhang mit diesem Thema wurde auch von anderen Autoren[135,136] festgestellt, daß Schlafentzug durch Alkohol sich nachteilig auf den vestibulo-oculären Reflexbogen auswirkt und daß Alkohol sowohl einen herabgesetzten REM'-Schlaf als auch eine verstärkte vestibuläre Empfindlichkeit erzeugt.

Um nochmals auf die Vertigo zurückzukommen, möchte ich einen Fall von Vertigo während des Fluges und die Bewußtlosigkeit bei einem Piloten, den Dille et al.[138] beschrieben haben, schildern. Dabei will ich nur die durchgeführte kalorische Testung anführen.

Bei der dritten Untersuchung erfolgte eine Reizung mit Wasser von 25°C für 3o Sekunden lang unter gleichzeitiger EEG-Ableitung. Nach dreimaliger Durchführung trat ein Nystagmus mit hoher Amplitude und einer Frequenz von 2-3 pro Sekunde 4o Sekunden nach dem letzten Versuch auf und dauerte mehr als 2oo Sekunden. Daneben erschienen auch verlangsamte Wellen hoher Spannung (2-3 und 4-5 pro Sekunde) in allen Ableitungen und dauerten 46 Sekunden, die denen nach 3 minütiger Hyperventilation ähnelten. Einige der langsamen Wellen schienen mit der Augenbewegung des Hystagmus zeitlich zusammenzufallen, wobei man an Artefakte dachte. Doch

1. diese langsamen Wellen erschienen nicht nach Reizung des lin-

ken Ohrs, das ähnliche Amplitude und Frequenz des Nystagmus erzeugte;

2. sie zeigten sich nach den 2oo Sekunden in den restlichen Aufzeichnungen nicht nach Reizung des rechten Ohrs, das den gleichen Nystagmus darlegte.
3. viele langsame Wellen schienen nicht mit den Augenbewegungen zeitlich zusammenzufallen.

Dies alles deutet an, daß diese langsamen Wellen wahrscheinlich echte zeitgleiche Entladungen vom Cortex waren. Der Patient sagte auch, daß er während dieses Versuchs die gleiche Empfindung von Verwirrtheit im Kopf und Schwindel fühlte, wie damals kurz vor dem Ereignis im Flugzeug. Dille et al. vermuteten, daß eine echte, vestibuläre Vertigo aufgetreten ist, die z.B. durch reflektierende Lichtblitze der Propeller, durch plötzliche Druckänderung im Mittelohr, die eine flüchtige Vertigo hervorruft, aber sie dürfte nicht wie in diesem Fall zwischen Boden und 4oo Fuß während des Steigflugs auftreten. Daneben gibt es noch andere Möglichkeiten wie endokrines Ungleichgewicht, Hörverlust, herabgesetzte Antwort auf kalorische Tests, Druckgefühl auf den Ohren, Unwohlsein und eine vasomotorische Störung einschließlich der endarteriellen Gefäße der Labyrinhtarterie.

Wie oben schon erwähnt, kann Vertigo durch plötzliche Änderung des Luftdrucks im Mittelohr entstehen, wobei seine exakte Ätiologie unklar ist. In seinem Bericht über die sechsjährige Erfahrung der SAM Aeromedical Consultation Service mit diesem Syndrom führte Brown[139] 4 Fälle an, von denen 2 während eines schnellen Sturzflugs mit einem kräftigen Valsalva auftraten und 2 Fälle hatten vage Symptome, die keine klassische Vertigo zeigten, die

aber durch einen kalorischen Reiz verdoppelt werden konnten. Fall 1 beschreibt einen 41 Jahre alten T33-Piloten, der seit einem Jahr mit der Vertigo zu schaffen hatte, wobei alle Episoden bis auf eine während der Flüge auftraten, wenn er über 1ooo Fuß Höhe aufstieg und er seine Ohren "freimachte". Diese Anfälle waren nie von Unbehagen, Hörverlust oder irgendwelchen Symptomen der oberen Luftwege begleitet. Die einzige Episode auf dem Boden geschah bei einem kräftigen Valsalva, da er seine Ohren von diesem Gefühl des "Knisterns und Knallens" befreien wollte, bei dem er sein Gleichgewicht verlor und stürzte. Eine gründliche Untersuchung nebst neurologischer Fahndung verlief ergebnislos außer einer Vernarbung des linken Trommelfells aufgrund einer alten Perforation. Audiologisch wurde ein bilateral sensorineuraler Hörverlust für hohe Töne aufgedeckt, der in der Wirkung einem akustischen Trauma glich. Die kalorische Reizung war normal, seitengleich und verstärkte seine Vertigosymptome. Nach einem Jahr erbrachte die Untersuchung, daß der Patient symptomfrei blieb und seine fliegerische Tätigkeit wieder aufnehmen konnte.

Während neun Jahren litt im Fall 2 ein 33 Jahre alter Pilot mit 2249 Flugstunden an wiederholten kurzen Vertigoepisoden, die sich nur beim Aufsteigen und gleichzeitiger Erkrankung der oberen Luftwege zeigten, die aber durch ein Absteigen in geringere Höhen oder durch gleichzeitiges "Reinigen" der Ohren beim Aufstieg gelindert werden konnten. Jede Episode war begleitet von einer subjektiven Gesichtsfeldeinschränkung, milder Diaphorese, Unsicherheit, Schwäche und Völlegefühl in den Ohren und Unbehagen, was auch manchmal zum Erbrechen führte. Neurologische und audiologische Untersuchung blieb normal. Nur die kalorische Sti-

mulierung vermittelte dem Patienten die gleichen Empfindungen, wie oben aufgeführt. Seine Diagnose lautete auf Vertigo aufgrund Druckveränderungen im Mittelohr.

Bei Fall 3 dreht es sich um einen 23 Jahre alten Flugschüler mit 2 Episoden auf seinen Flügen, die beim Abstieg von 15.ooo ft während eines Valsalva auftraten, da er den Mittelohrdruck an die Umgebung angleichen wollte. Die Begleitsymptome setzten sich aus vagem Schwindelgefühl, Verwirrtheit im Kopf und Unbehagen zusammen, aber ohne Erbrechen, wobei jede Episode einige Minuten andauerte. Die Druckkammer rief bei ihm während des Abstiegs von 2o.ooo ft auf 5.ooo ft mit gleichzeitiger Valsalvaübung die gleichen Episoden hervor. Ein zu erwartender Nystagmus trat nicht ein. Eine anschließende Untersuchung verlief mit normalen Ergebnissen, nur die kalorische Reizsetzung und die forcierte Hyperventilation ließen die subjektiven Beschwerden in Erscheinung treten. Das Resümee lautete auf milde Vertigoepisoden während Druckveränderungen im Mittelohr, verstärkt durch Hyperventilation. Dieses letztere Syndrom sollte eine Antwort bezüglich der Angst sein, die durch die Kombination milder Vertigo, Unerfahrenheit und großem Abstiegsweg entstanden ist.

Der letzte Fall trat bei einem 24 Jahre alten Piloten mit 8oo Flugstunden auf, bei dem die Symptome etwa 15-2o Sekunden dauerten und sich nur während eines schnellen Abstiegs, begleitet von einem Valsalva, zeigten. Die Gefühle dabei wurden als "Leichtigkeit im Kopf und Schaukelgefühl" beschrieben, die gleichzeitig mit dem Knallen in den Ohren begannen. Ein mildes Richtungsüberwiegen nach rechts, das bei kalorischer Reizung auftrat, wurde als unbedeutend abgetan, aber die auf der Tretmühle sich zeigen-

den häufigen frühzeitigen Ventrikelkontraktionen und technischen Ventrikeltachykardien wurden als unvereinbar mit der Flugsicherheit angesehen und hatten seine Stationierung auf dem Boden zur Folge.
Also in allen Fällen kann eine Erfahrung von Symptomen der vestibulären Endorganstimulation verzeichnet werden.
Ebenfalls wird bei einigen eine Infektion der oberen Luftwege verzeichnet, die eigentlich den Grundsatz beherzigen sollten "Fliege nicht mit einer Erkältung", da dabei die Ventilation dieser Luftwege nebst der Ohren verlegt ist. Daher sollten die Fliegerärzte ihre Patienten auf dieses Risiko aufmerksam machen, um die Häufigkeit dieser Art Vertigo zu vermindern.

Bezüglich der vestibulären Gewöhnung schreibt Yuganov[14o], daß die variable vestibuläre Toleranz der Besatzungsmitglieder von Voskhod in Beziehung zu den anfänglichen Unterschieden ihrer vestibulären Empfindlichkeit und der unterschiedlichen Dauer ihres Vestibulartrainings gesetzt werden. Sie glauben darüber hinaus, daß durch beständige Trainingsmethoden auf dem Boden und vestibulärer Reizung sich die Möglichkeit eröffnet, das Auftreten vestibulärer Störungen während des Raumflugs zu verhindern.
Die Ära der Hochleistungsflugzeuge und der Raumforschung haben zur Erkennung von Gewöhnung an ungewöhnliche Vestibularreizung als sehr wichtiges Forschungsobjekt geführt. Besonders nicht gewohnte Flugmanöver mancher Flugzeuge und Raumschiffe auf ihrem Flug rufen vestibuläre Stimulierung hervor, die manchmal zum Schaden der jeweiligen Besatzung gereicht. Denn vestibuläre Gewöhnung ist eine allgemeine Reaktion auf jede wiederholte sensorische Reizung hin und läßt sich charakterisieren durch Er-

werb, Retention, Verlust oder Nichtgewöhnung und Übertragung. Zu diesem Aspekt in der Fliegerei führte Pialoux et al.[141] eine Studie durch, in der

1. rechte und linke Nystagmusfrequenz während verschiedener Perioden der Aufzeichnung
2. gesamte rechte und linke Nystagmusfrequenz und das Verhältnis der gesamten Linksnystagmusfrequenz zur gesamten Rechtsnystagmusfrequenz $R = \Sigma N(1)r$, das für Pialoux et al. die bedeutendere Messung darstellt.

In der normalen Kontrollgruppe ist das Verhältnis größer als 1. Seine Ergebnisse lauteten bei diesen drei Gruppen:
In der ersten Gruppe war bei 41 von 5o Leuten dieses Verhältnis von linker Tremorfrequenz zur rechten Frequenz weniger oder fast gleich 1. Die Auswertung in der zweiten Gruppe zeigte keine bedeutenden Unterschiede bei Vergleich mit der Kontrollgruppe. Die dritte Gruppe ließ sich einteilen in

a) Gruppe mit keiner Flugstunde, d.h. identisch mit der Kontrollgruppe,
b) Gruppe mit 4o Flugstunden und das Verhältnis zeigte 1,
c) bei der 1oo Flugstundengruppe war das Verhältnis kleiner 1.

Dieser Test, der die vestibuläre Gewöhnung zeigt, ist sicher von Nutzen, um die Funktion des Gleichgewichts und die Ausbildung von Gewöhnung während des Flugtrainings darzustellen. Bei Skylab III zeigte das Experiment von Baumgarten[142] bei zwei Elritzen ebenfalls anfängliche Desorientierung, die nach 3 Tagen für die restliche Dauer des Unternehmens einer vestibulären Gewöhnung wich, die nur bei Erschütterung wieder der Desorientierung Platz machte.

Bei einigen Patienten rufen gewisse Störungen des Labyrinths parallele Störungen der Hör- und Vestibularfunktion hervor. Durch periphere Verletzungen enthüllt bei kalorischen Nystagmusuntersuchungen das in seinen Höreigenschaften schlechtere Ohr Schwächen, die relativ sind zu dem besser hörenden Ohr. In der Luftfahrtmedizin besteht schon seit langem das Problem des Lärms und seiner Folgen z.B. bei einem Geräuschpegel von 135 dB und höher, der Schäden in der Sakkula, geschwächtes Gleichgewicht und Augenbewegungen hervorruft.

Brunner und Norris[125] berichteten in ihrer Studie über 53 gesunde Testpiloten mittels Bekesy Hörschwellenreize, des unwillkürlichen und kalorischen Nystagmus, die einem Patientengut mit Beschwerden wie Schwindel oder Vertigo gegenübergestellt wurden. Signifikante Beziehungen wurden zwischen linkem und rechtem Ohr bei hohen Frequenzhörschwellen und in dem Umfang festgestellt, in dem sich der kalorische Nystagmus stärker in die eine Richtung neigt als in die andere (gerichtetes Übergewicht, DP). Bei den Piloten verhielt sich das Audiogramm in normalen Grenzen mit dem charakteristischen Wert für Flieger bei 4000-6000 Hz und eine Verschlechterung bei diesen Frequenzen auf dem linken Ohr in über 60 % der Fälle. Bedeutende Korrelationen mit DP tauchten auf, als die Unterschiede zwischen linken und rechten Ohrschwellenwerten ausgewertet wurden. Je größer die Schwellenwertunterschiede zwischen den Ohren, desto größer DP, wobei sich DP mehr dem schlechter hörenden Ohr zuneigte. Diese Beziehung war stark hervortretend bei 8000 Hz. Doch die Betonung einer Seite und dieses Übergewicht trat nur dann auf, wenn ein Unterschied von etwa 5 dB und höher zwischen den Schwellenwerten beider Oh-

ren bestand. Da viele der Piloten keine Unterschiede beider Gehörapparate in dieser Größenordnung zeigten, sind die Korrelationskoeffizienten kleiner, so als ob die bilateral gleich hörstarken Probanden ausgeschloßen worden wären. 26 % zeigten spontanen Nystagmus von geringer Intensität, der in Intensität und Richtung völlig mit der DP-Ursache und Richtung in Wechselbeziehung stand. Dieser Pilotenprozentsatz zeigte also eine Verbindung zwischen DP und der Schwellenwertunterschiede beider Ohren, wiederum in erster Linie bei 6ooo Hz und 8ooo Hz und der DP gegenüber dem schlecht hörenden Ohr in den meisten Fällen. Eine entsprechende Beziehung wurde ebenfalls für Intensität und Richtung des spontanen Nystagmus verzeichnet, wobei dieser Nystagmus eine bessere Andeutung bezüglich des schlechteren Hörapparates andeutete als DP.

Was die Patientengruppe anbetraf, so war sie aufgrund ihres Audiogramms in drei Gruppen unterteilt und zwar in:

1) Unilateral sensoneuraler Verlust, die einen mittleren Hörschwellenunterschied von wenigstens 35 dB zwischen beiden Ohren bei jeder Testfrequenz zeigten. Ihre unilaterale Minderung bei allen Frequenzen, besonders unter 4ooo Hz deckte eine gut ausgebildete Verbindung zwischen Hörverlust und vestibulärer Schwächung in dem betroffenen Ohr auf. Im Gegensatz zu den Piloten zeigte DP in 9 von 1o Fällen von dem schlechter hörenden Ohr weg, was ebenfalls für den spontanen Nystagmus zutraf.

Die zweite Gruppe war diejenige mit dem akustischen Trauma, die bei niedrigen und mittleren Frequenzen normales Hören und ein jähes Absinken größer als 35 dB bei oder über 2ooo Hz in einem oder beiden Ohren an den Tag legte, die also zwischen den Piloten

und der ersten Gruppe lag. Das DP bei der zweiten Gruppe war ähnlich in ihrem Hörverlust hoher Frequenzen und in der Nystagmusrichtung auf das schlechte Gehör wie die Werte bei den Piloten.

3) Bei der normalen Hörgruppe als dritte Einteilung bestand keine Gehör-Vestibular-Beziehung.

Die Betonung einer Seite bei Hörverlust und DP unter Leuten, die bei hohen Frequenzen ein Hörunvermögen zeigten, scheint ein zentrales Phänomen zu sein und mag eine normale Prädisposition für Asymmetrie darstellen, die durch Lärm vergrößert werden kann oder auch nicht.

I.2. b) Sehapparat

Wie schon beim Vestibularorgan öfters hingewiesen, besteht eine starke Verquickung desselben mit dem Auge und den Augenmuskeln. Natürlich stellt sich dabei das Problem, in wieweit wird gleichfalls die Sinneswahrnehmung des optischen Apparats beeinflußt. Die Durchlaßfähigkeit des optischen Analysators reicht von o,6 bis 12oo bit pro Sekunde. Der Sehnerv läßt 3oo Millionen bit Information pro Sekunde durch. Allerdings ist die Sendegeschwindigkeit der Information noch nicht die Arbeitsgeschwindigkeit des gesamten Rechenkomplexes des menschlichen Gehirns. Die Zeitkonstante des optischen Sinnesorgans beläuft sich im Mittel auf 17o ms. Die kleinste Leuchtdichte, die vom Auge wahrgenommen wird, beträgt $3{,}18 \times 10^{-6}$ cd/cm^2 - die größte 318oo cd/cm^2, darüberhinaus beginnt die Erblindung. Das Auflösungsvermögen des optischen Analysators zur Winkelgeschwindigkeit ist o,3 bis 2 Winkelminuten/Sec.

Ebenso unterliegt der optische Analysator Illusionen bei der Wahrnehmung von Linien und Farben. Besonders lange parallele Linien, gekreuzt von kurzen schrägen Strichen, erwecken den Eindruck, nicht parallel zu sein. Der Grund liegt darin, daß das durch die Augenmuskeln bewegte Auge den Kreuzungslinien folgen will, wobei aber der Eindruck langer paralleler Linien verzerrt wird.

Aufgrund einer Untersuchung verzeichnete Kitajew-Smyk[143] bei seinem Untersuchungstest keine Veränderung außer daß einige Kosmonauten Aussagen machten wie "alles bewegte sich nach unten", "während der Schwerelosigkeit sah ich nur den Gegenstand, auf den ich gerade blickte, alles übrige ging unter", "zu Beginn der Schwerelosigkeit habe ich nichts gesehen" oder "während der Schwerelosigkeit verblaßte alles und verschwamm". Er ließ sie ebenfalls unter Schwerelosigkeit auf weißes Papier gemalte Figuren oder Leuchtfiguren bei völliger Dunkelheit ansehen. Dabei entstand meist der Eindruck einer Vergrößerung, einer Verblaßung, eines Abrutschens nach unten, einer Schaukelbewegung oder des Verschwimmens der Konturen. Bei Fixation eines Teils der Figur verebbten diese Illusionen, dieser Figurausschnitt wurde normal groß und erhielt eine sehr große Helligkeit, während der Rest seine Täuschungen aufrecht erhielt. Daher trat eine Verzerrung dieses beobachteten Zeichens auf, d.h. ein Kreis wurde elliptisch, gerade Linien wurden scheinbar gebogen. Bei dem Dunkelheitsversuch meinten die Untersuchten, ein violettes Band habe sich um die Zeichen gelegt. Dies steht in Einklang mit Untersuchungen bei Vestibularreizungen, bei denen ebenfalls eine Konturenverschiebung und -verzerrung auftraten; doch eine endgültige Erklärung kann nicht

gegeben werden. Der Autor bietet diese Hypothese an, die besagt: "Im Zustand der Schwerelosigkeit vermindert sich die Kraft der Muskeln, die die Augen auseinanderführen. Infolgedessen konvergieren die Augenachsen in Richtung zur Nase. In der Regel richtet jedoch der Mensch seinen Blick auf einen bestimmten Gegenstand. Damit der Gegenstand im Gesichtsfeld bleibt, spannt der Mensch unwillkürlich die Muskeln an, die das Zusammenführen der Augenachsen verhindern. Dabei tritt sofort die Rückmeldung in Aktion. Die Muskeln signalisieren dem Gehirn diese zusätzliche Anstrengung, und das Gehirn verarbeitet das Signal. Im Endergebnis entsteht dann bei dem Menschen der Gedanke: die wahrgenommene Figur hat sich entweder vergrößert, oder sie ist weiter weggerückt (unter normalen Umständen tritt eine derartige Muskelanspannung nur bei Vergrößerung oder beim Wegrücken des Gegenstandes in die Ferne auf.) Der zweite Fall, ein Wegrücken des Gegenstandes, wäre jedoch nur dadurch möglich, daß sich die Kabinenwände des Flugzeugs voneinander weg bewegten. Die Probanden aber wissen genau, daß dieses nicht sein kann. Also korrigiert das Bewußtsein die erhaltenen Mitteilungen, und für den Menschen bleibt nur die eine Schlußfolgerung übrig: Die Figur hat sich vergrößert. Daneben treten auch die Täuschungen des "in die Ferne rücken" auf. Daß sich diese Störungen meist zu Anfang der Untersuchung ergeben, gegen Schluß hin verringern und endlich in eine Anpassung dieser Situation eingehen, ist die Meinung von Kitajew-Smyk.

Vor-Ort-Untersuchungen von Jegorow[144] zeigten keine Einschränkung der Sehfunktion, noch wesentliche Abänderungen in Sehschärfe, Augenmuskeltonus und Lichtempfindlichkeit mit den irdischen Kontrollwerten. Beim Woschod-2-Unternehmen wurde das Auflösungsvermögen des optischen Apparats untersucht, wobei die Sehschärfe

durch ein standardisiertes Strichmuster überprüft und aus 3o cm Abstand beobachtet wurde. Die Ergebnisse der Sehschärfe zeigt die Tabelle..

	unter Laboratoriumsverhältnissen 5 Messungen	im Lehr-Raumschiff 2 Messungen	Raumflug 2 Messungen
A.A. Leonow Kosmonaut 1	1,7	1,4	1,64
J.J. Beljajew Kosmonaut 2	1,7	---	1,34

Dabei ist nur eine geringe Änderung des optischen Auflösungsvermögens in der Rubrik Raumflug zu bemerken. Der Wert 1,34 wird mit den Beleuchtungsbedingungen im Raumfahrzeug erklärt.

Der zweite Punkt im Versuch war die optische Arbeitsfähigkeit an Bord. Durch Ausschaltung der Sehschärfe wurde mit einer überschwelligen Größe, also einem Wert über dem Normwert, gerechnet. Die während des Raumflugs auftretende optische Arbeitsfähigkeit sank stark ab, was durch eine gewisse Störung der Koordination der Augenmuskeln im Rahmen allgemeiner Koordinationsstörungen der Bewegungen auftritt. Gleichzeitige Veränderung des Fixationspunktes ergibt einen überschießenden Effekt und ein "Überspringen" des angestrebten Punktes im Raum, was eine andere Einstellung erfordert. Die Schwierigkeit liegt in der erneuten Impulsfolge von o,o1 Sekunden, die in der Refraktärzeit liegt und wegfällt. Doch bei diesem Versuch entfällt diese Beobachtung, weil die Impulsfrequenz bei Sehwinkelzunahme mit einer gleichzeitigen starken Abnahme verbunden ist.

Beobachtungen

	Kosmonaut L	Kosmonaut B
Laboratorium		
Zuverlässigkeit (%)	1oo	1oo
Arbeitszeit (Sekunden)	36	43
Sehschärfe	o,95	1,17
Trainingsraumschiff		
Zuverlässigkeit	88	--
Arbeitszeit	6o	--
Sehschärfe	1,1	--
Raumflug		
Zuverlässigkeit	75	8o,8
Arbeitszeit	9o	--
Sehschärfe	1,2	1,o6

Für die gleichzeitige Farbuntersuchung wurden als Hauptfarben Rot, Grün und Dunkelblau und zusätzlich Hellblau, Gelb und Purpur gewählt. Dabei fand ein Vergleich mit einem Schwarz-Weißkeil statt, der subjektiv bei den Kosmonauten den gleichen Helligkeitswert wie die angegebenen Farben hervorrufen sollte. Das Ergebnis war eine starke, subjektiv empfundene Helligkeitsabnahme der Farben unter diesen schwerelosen Umständen, die bei Kosmonaut L 25 % und bei Kosmonaut B 26,1 % ausmachte. Das Maximum der Fehleinschätzung lag bei der Bestimmung von Purpur und Hellblau, dann der Reihenfolge nach bei Rot und der Wert für die restlichen Farben lag unter 1o %. Der Mittelwert bei diesem Helligkeitstest betrug 15-3o % (lt. Tabelle). Die Ursachen für diesen Abfall sind unbekannt.

Wie bekannt ist, haben Piloten und Raumfahrer sehr viel mit farbigen Signalschaltern im Cockpit, Rollbahnbeleuchtung und den

vielfältigen Farbschattierungen der Landstriche zu tun, die sie überfliegen. In fast allen Fällen stellen die Piloten eine schon durchgemusterte Gruppe dar, aber dennoch können hier und da einige dabei sein, die trotz sorgfältiger Siebung an Unvermögen des Farberkennens leiden, sei es aufgrund verheimlichter Angaben, oder kurzfristig auftretender organischer Leiden unbekannter Ursache oder aber auch auf Grund von sonstigen Unfällen oder Krankheiten.

Zur Erkennung eines Sehunvermögens bezüglich Farben erscheint meines Erachtens der Farbsehtest, der von Cameron[182] angegeben wird, sehr vernünftig und auch sehr effektiv hinsichtlich der Siebung zu sein. Dabei benützt der Beschreiber drei Fragestellungen:

a) "Ist überhaupt ein Defekt des Farbsehvermögens vorhanden?" Die Beantwortung erfolgt seiner Meinung nach schnell mittels den Ishihara Bildtafeln.
b) "Welcher tatsächlichen Natur ist dieser Schaden", läßt sich am besten hier mit dem Anomaloscope nach Nagel klären.
c) "Ist der Schaden vereinbar mit unseren Anforderungen", löst ein praktischer Test, derer es soviele gibt.

Von den 5141 Anwärtern stellten sich 266 Kandidaten mit Mängel heraus, was 5,17 % entsprach, von denen aber 1,26 % die Begutachtung "Akzeptabel" erhielten. Der Rest von 3,9 %, der abgelehnt wurde, scheint einen guten Mittelwert hinsichtlich Abweisungsquoten darzustellen.

Ein anderer Aspekt des optischen Apparats während des Raumflugs verdient Beachtung, nämlich die Tiefenwahrnehmung von Gegenständen im Kosmos. In über 3oo m Flughöhe nimmt das räumliche Sehen

des Menschen zur Feststellung der Flughöhe an Effektivität ab. Heutzutage treten bei Flügen mit mehr als dreiracher Schallgeschwindigkeit derartige Illusionen auf, daß nämlich der Pilot Gegenstände, die sich schon 1oo m hinter dem Flugzeug befinden, so sieht, als befänden sie sich vor der Tragfläche des Flugzeugs. Diese Täuschung ergibt sich durch die Anisochronie (Diskrepanz zwischen der Zeitcharakteristik der optischen Wahrnehmung und der Bewegung des Flugzeugs), d.h. sie ist aus einem Zurückbleiben der Wahrnehmungsgeschwindigkeit hinter der Geschwindigkeit des Flugzeugs bedingt.

Kurz vorausgeschickt, sind es gerade die Akkomodation und Konvergenz, die Größenabbildung auf der Netzhaut, die Kontraktionen der Augenmuskeln und die nicht übereinstimmende Abbildung im linken und rechten Auge, durch die die Auffassung von Umfang, Größe, Entfernung und Form dieser Objekte sichergestellt wird. Denn gerade im Weltall können Situationen auftreten, in denen eine Orientierungshilfe von seiten der Gestirne fehlen kann und ein Zustand des "orientierungsfreien Sehens" eintritt. Hierbei wird eine wirksame Abnahme der optischen Wahrnehmung verzeichnet und manchmal werden wieder illusionäre Empfindungen hervorgerufen. Dieses orientierungsfreie Sehen läßt das optische System auf kurze Entfernung fokusieren, bei dem Astronaut stellt sich eine Kurzsichtigkeit ein, die zu starken Einschränkungen bezüglich der Entfernungsgrößen führen, wie z.B. beim Flug von Gemini 4. Diese Astronauten unterschätzten beim Rendezvousmanöver die Abstände, die sich laut ihrer Angaben auf 12o m, in Wirklichkeit auf 6oo m beliefen. Diese Probleme wurden inzwischen durch Radiolokatoren gelöst.

Daß es bei den Raumflügen zu Täuschungen der Wahrnehmung kommen kann, zeigte der Astronaut Cooper[174], der von der Kapsel aus Häuser und ähnliche Baulichkeiten, Fahrzeuge, Boote und sogar Rauchfahnen aus den Kaminen ausmachen konnte. Doch aufgrund des mangelnden Auflösungsvermögens unseres Auges ist das Erkennen aus solchen Höhen unwahrscheinlich. Aller Voraussicht nach erlag dieser Raumfahrer einer Wahrnehmungsillusion, die durch den spärlichen Informationsgehalt des Reizes zu begründen ist- Diese Täuschung läßt sich erklären durch die nicht richtige Verwertung eines Reizes und durch die langsame Abrufung früherer Eindrücke, die auf Erfahrungswerten basieren. Bei Schwerelosigkeit wird das Auflösungsvermögen des Sehorgans dreimal schlechter (es erreicht 3'), und die optische Wahrnehmung der Helligkeit grüner und purpurner Farben sinkt um 50 %. Ebenso vergrößert sich ungleichmäßig die Empfindlichkeit des Sehorgans bezüglich Farben: besonders hell ist Gelb, gefolgt von Rot, dann von Grün. Blau zeigt kaum noch Veränderungen.

Nach dem 18 tägigen Raumflug von "Sojus 9" schilderte Kosmonaut W.I. Sewastjanow seine visuellen Eindrücke von der Erde so: "An den ersten Tagen unterschied ich nur wenig aus der Höhe des Kosmos. Danach bemerkte ich Schiffe auf dem Ozean. In der Mitte des Fluges beobachtete ich einen Eisenbahnzug, der sich einer Brücke näherte. In der ersten Zeit waren neben den Straßen irgendwelche kleine Quadrate zu erkennen. Nach einigen Tagen stellte ich dann fest, daß das Ackerland war. Bald begann ich zu unterscheiden, welches davon gepflügt war und welches nicht. Am Ende des Fluges unterschied ich bereits Gebäude in der Nähe dieser Felder..."

Wie kommt es, daß Astronauten Dinge sahen, deren Winkelausdehnung

unter 1' liegt und der Sehtheorie widerspricht. Ist es ein Resultat der alleinigen Verschärfung des Sehvermögens bei dem jeweiligen Astronauten oder ein Ergebnis des Einflusses der Flugbedingungen?

Sowohl psychophysiologische Faktoren liegen nach Auffassung von Kosmonaut Sewastjanow dieser Ursache zugrunde als auch physische Faktoren, die er wie folgt ausführt: "Das menschliche Auge vermag durch ein Luftmedium, d.h. durch ein Medium mit äußerst geringer Dichte, in der fast keine Strahlenbrechung erfolgt, hindurchzublicken. Es gibt nur ein geringfügiges Leuchten in der Luft, und damit wird eine Beobachtung irdischer Störungen unmöglich. In diesem Sinne besitzt der Kosmos keine Streuung, weil er als Medium brechungsfrei gegenüber der Luft ist. Hieraus läßt sich die ungewöhnliche Sehschärfe erklären."

Die Orientierung spielt eine große Rolle bei dem Ausstieg des Astronauten aus seinem Fahrzeug und dem Aufenthalt im schwerelosen All, in dem ihm alle taktilen oder propriorezeptiven Vorstellungsgrößen, an die er in der Raumkapsel gewöhnt war, fehlen, eben außer ihrer wechselseitigen Beziehung der einzelnen Körperteile. In diesem Zustand muß er sich als "Krücke" des optischen Apparats bedienen, nur verbunden mit einem Seil, das im gewissen Sinn eine Stütze bilden kann. Der Eindruck von dort ist wie ein Dahinschweben über eine riesige, farbige Weltkarte und die Orientierung erfolgt nach der sich bewegenden Raumkapsel und der "stillstehenden" Sonne. "Obwohl ich die Kapsel während der Drehung nicht sehen konnte, blieb die Vorstellung von meiner Lage im Raum völlig erhalten und die Orientierung ging nicht verloren. Meine Lage im Raum im Verhältnis zum Raumschiff konnte ich mit Hilfe der durch mein Gesichtsfeld wandernden Sterne, der Sonne

und der Erde beurteilen. Eine gute Orientierungsmöglichkeit gab auch das Seil, wenn es völlig entfaltet war", so kommentierte ein russischer Kosmonaut seinen Allausflug.

Daß der Alkohol ebenfalls beträchtlichen Einfluß auf den optischen Apparat hat, zeigte Prof. W.G.Terentjew. Nach dem Alkoholkonsum sank das Arbeitsvermögen der Kosmonauten in den ersten 3-5 Stunden sehr stark ab. Ebenso tritt eine Verzögerung in der optischen Wahrnehmungsgeschwindigkeit um das 4-7 fache ein, gleichzeitig mit einer Zeitverlängerung für Bewegungsreaktionen auf optische Signale um 4o-7o ms. Nebenbei wächst die Zeit, die für das Aussuchen einer logischen Information notwendig ist, um 1o-2o % und jene bezüglich einer Fehlerlokalisierung bei Zusammenwirken von Gesichts- und Gehörsinn um etwa 5o %. Das Fazit seiner Untersuchung ist, daß ein Flieger oder Kosmonaut nach Alkoholaufnahme, selbst geringster Mengen, nicht während der nächsten 24-48 Stunden fliegen darf.

Gute Dienste auf dem Sektor der Flugmedizin und bei fliegerischen Tauglichkeitsprüfungen leistet die Ophthalmodynamometrie. Diese Untersuchungstechnik besitzt im Hinblick auf die Tragweite einer Carotis interna-Insuffizienz und deren neurologischen und neuroophthalmologischen Auswirkungen eine große Aufklärungsquote. Die Messung beruht auf einem arteriellen Druckvergleich der Retina. Normalerweise liegt der intraoculare Druck niedriger als der diastolische der Retina. Wenn aber der intraoculare Druck den diastolischen überschreitet, etwa bei einem Glaukom, oder wenn der diastolische Wert unter den normalen intraocularen Druck fällt, etwa bei einer Aortainsuffizienz, dann kann eine Pulsation im Auge gesehen werden. Die Bezeichnung erfolgt in Gramm oder

mmHg.

Hollenhorst[178] meinte, daß die diastolischen Druckwerte nicht mehr als 45-5o % der diastolischen Messung am Arm ausmachen sollten, was mit Bailliarts Aussagen[179] übereinstimmt. Er glaubte auch, daß ein Unterschied von 5 mm Hg im diastolischen Bereich zwischen beiden Seiten signifikant ist bei diastolischen Druckwerten unter 45 mm Hg und ebenfalls eine Bedeutung besitzt bei 8-1o mm Hg bei diastolischen Werten über 45 mm Hg. Dieses Verfahren stellt somit auch eine große Hilfe für den Internisten, Neurologen und Neurochirurgen dar.

In diesem Rahmen zeigten Jaeger et al.[177], je kleiner der Unterschied zwischen dem intraocularen Druck und dem intraarteriellen Druck der Arteria ophthalmica, desto größer die Empfindlichkeit gegenüber Auswirkungen der Beschleunigung.

An Hand von einigen Fallbeschreibungen schildern Diamond et al.[175,176] ihre entscheidende Hilfe bei Diagnose und Prognose, um die sehr schwerwiegende Frage fliegerischer Qualifikation zu lösen.

(vgl. s.74a)

Fall 1: Ein erfahrener 45 jähriger Pilot litt an einer internukleären Lähmung mit Doppelsehen, möglicherweise das Ergebnis einer traumatischen basilaren-vertebralen Zirkulationsstörung, abgelöst von teilweisen Erholungsphasen. Die Ophthalmodynamometrie deckte eine nicht unbedeutende Insuffizienz der linken Carotis interna auf.

Bei diesem Patienten war der Druckwert des linken Auges um 15 mm Hg niedriger als auf dem rechten Auge und um 17 mm Hg geringer als der Normwert (Normwerte vgl. Tabelle S.74a). Dadurch laborierte er möglicherweise an sich verschlimmernden ischämischen

MESSDATEN DER OPHTHALMODYNAMOMETRIE

	Rechtes Auge	Linkes Auge
P_{Arm}	143/1oo mm Hg	142/87 mm Hg
$P_{m\ Arm}$	118 mm Hg	116 mm Hg
T	16 mm Hg (Schiotz)	16 mm Hg (Schiotz)
P_{Ophth} [x]	1o6/71 (normal 69)	92,5/58 (normal 68)
$P_{m\ Ophth}$	86 mm Hg	72 mm Hg (14 mm niedriger als normales rechtes Auge)
Normaler Grundwert	9o,8 mm Hg	89,3 mm Hg
Abweichung	- 4,8 (normal)	- 17,3 (abnorm niedrig, 18,4 % Abnahme)
Fehlerbreite	± 9	± 9

P_{Arm} = Blutdruck des Arms

P_{Ophth} = ophthalmologischer Arteriendruck

T = Intraocularer Druck

m = gemittelter Druckwert

[x] Müller-Brunning-Sohr, Umwandlung in mm Hg

Nach Weigelin,E., Lobstein,A.[234,175]

Auswirkungen auf Retina und Cerebrum. Die Folge war Suspendierung vom fliegerischen Dienst, bis eine mögliche Linderung eintreten wird.

Der zweite Fall war ein 4o jähriger Pilot, ebenfalls mit einer Carotis interna-Insuffizienz, die auf einer angeborenen Gefäßanomalie mit flüchtigen syncopalen Anfällen und völliger Wiederherstellung beruhte. Dieser Patient wäre nicht aufgefallen, wenn er sich nicht bei der ersten Episode auf die Zunge gebißen hätte. Neurologische Überprüfung verlief im wesentlichen ergebnislos. Diese Anomalie, arteriographisch und chirurgisch bestätigt, wurde beseitigt und nach Aussage der Ophthalmodynamometrie zeigte die Augenarterie normale Druckwerte und eine angemessene Kollateralzirkulation.

Die dritte Fallbeschreibung schildert ebenfalls das gleiche Insuffizienzproblem, das sich in einer Aphasie und vorübergehenden Schwäche des rechten Arms und der rechten Gesichtshälfte darbot, und auf einem intraarteriellen, atherosklerotischen Plaque beruhte. Nach Ausräumung stellten sich in den abschließenden Untersuchungen wieder normale Verhältnisse auf neurologischer, ophthalmodynamometrischer und EEG-Ebene her.

Ein letzter Fall[176] in dieser Richtung stellt die Beschreibung einer extraoculären Muskellähmung dar, vergesellschaftet mit einer Systemhypertension, wobei der retinale diastolische Druckwert höher lag als der allgemeine diastolische Wert. Konsequenz war eine zeitweilige Suspendierung vom Flugdienst, bis sich eine Besserung einstellen wird.

Was die sensomotorische Koordination Hand-Auge in veränderten Schwerkraftfeldern anbelangt, so möchte ich nur auf Cohen[159,16o]

in dem Abschnitt Sensomotorik und Koordination verweisen.
Daß auch bei rascher Dekompression Veränderungen am optischen Apparat auftreten, beweist die Beschreibung von Sheffield and Davis[180] und die Experimente von Cooke[181].
Dabei trat bei dem Piloten (Kabinendruck 753 mb, Flughöhe 13716 m, Sauerstoffmaske nicht angelegt) durch dieses Ereignis innerhalb von 5-8 Sekunden Bewußtlosigkeit ein. Nach 6-8 Minuten und in 3048 m Höhe erhielt er Sauerstoff. Nach der Landung war der Flugzeugführer blind und besaß keinerlei Orientierung, die 6 1/2 Stunden anhielt, in denen er mit hyperbarischem Sauerstoff behandelt wurde. Bald darauf erlangte er seinen Orientierungssinn und früheres Sehvermögen wieder und die neurologischen Untersuchungen verliefen ergebnislos. Wie schon Cooke an seinen Tierversuchen zeigte, haben wahrscheinlich intraoculare Druckschwankungen an diesen Sehstörungen mitgewirkt, die sich unter Rekompression zu atmosphärischen Verhältnissen in 7-10 Minuten besserten.
Daraus wurde abgeleitet:

a) eine wirksame Verabreichung von hyperbarischem Sauerstoff bei verlängerter Cerebralhypoxie, hier in meinen Ausführungen aus dem Blickwinkel des Sehapparats und
b) die Notwendigkeit, Überlebensmaßnahmen zu projektieren in Bezug auf diese oder ähnliche Dekompressionszwischenfälle.

Ein Problem großer Tragweite stellt auch das Auftreten der idiopathischen zentralen Retinopathie bei Fliegern dar, die dem Fliegerarzt erhebliche Schwierigkeiten bei ihrer Diagnosestellung bereiten kann. Meist klagt der Patient über verschwommene oder verzerrte Seheindrücke auf einem Auge. Funduscopie zeigt

eine seichte, stärker gefärbte Erhebung der Retina in der Maculagegend. Subretinale Präzipitationen können vorhanden sein und der Reflex der Fovea fehlt. Heutzutage kann sich der Untersucher dabei noch der Fluoreszeindarstellung des Fundus bedienen, die ihm kleine umschriebene Gebiete verstärkter Capillarpermeabilität darstellt, die aus Serumexsudation unter dem Pigmentepithel und Neuroepithel der Retina bestehen.

Epstein et al.[183] berichteten in ihrer Studie mit dieser Krankheit, daß 15 der 17 betroffenen Augen ein Sehvermögen von 2o/2o oder besser wiedererlangten. Trotzdem offenbarten sich einige kleine Defekte bei 11 von 13 mit der statischen Perimetrie, d.h. mit unbeweglicher Testlampe, wodurch eine bessere Beurteilung der Lichtempfindlichkeit erzielt wird, und bei 12 von 14 mit dem Netztest nach Amsler.

Bei diesem letzteren Test blickt der Proband monocular auf einen Fixationspunkt einer Netzfläche und gibt jede Linienverzerrung an, die auf eine Maculastörung hinweist. Daneben empfehlen die Autoren noch den Test mit der "Vision Test Apparatur" für Tiefenwahrnehmung der Streitkräfte, der die Stereopsis prüft und der hervorragende Siebungsresultate erzielt. Für die Farbsehteste eignet sich ihrer Meinung nach eine Prüfung nach Art der Hardy-Rand-Rittler-Bildtafeln, die auch gleichzeitig die Rot-Grün-Farbdefekte herausfiltert. In etwas abgewandelter Form hat diese Methode voraussichtlich Eingang in die Testserien der Air France bei ihren alljährlichen fliegerärztlichen Routineuntersuchungen gefunden, nebst monocularen und binocularen Farbsehtests.

Durch die Untersuchung von Epstein et al. bestätigt sich, daß betroffene Augen nicht vollständig zur Norm zurückkehren, auch

wenn die erlangte Sehschärfe 2o/2o und besser beträgt. Dennoch scheint dieses Krankheitsbild für Flieger günstig zu verlaufen, da nur 3 der 16 Patienten aufgrund ihrer Restdefekte nicht zum Fliegen zugelassen wurden.

Ergänzend zu den vorhergemachten Ausführungen fügt sich die Fallbeschreibung von Barry und Tredici[184] ein, die Drusen, d.h. kolloidale oder hyaline Körper im Sehnerv beschreiben.

Drusen sollen eine aberrierende Sekretionsaktivität der Zellen des Pigmentepithels besitzen. Manchmal mögen sie als Ursprung eine Umwandlung degenerierter Zellbestandteile zerstörter Nervenfasern darstellen, die das hyaline Material im Laufe ihrer retrograden Entartung anhäufen. Ihre Lage, die vor der Lamina cribrosa ist, erfolgt großteils nasal, gelegentlich temporal, aber in ihrer Ausdehnung überschreiten sie nie die Lamina. Die Drusen schwanken größenordnungsmäßig zwischen kleinen Pünktchen bis zu jenen prächtigen Anhäufungen von 1 mm Durchmesser, d.h. 2 bis 3 facher Venendurchmesser der Retina. Dadurch äußern sich die Sehschäden in bogenförmigen Skotomen, Sektordefekten und Verbreiterung des blinden Flecks.

Bei dem Patientenfall handelt es sich nach eigenen Angaben um ein verzerrtes Sehvermögen auf dem linken Auge, das ärztlich nicht bestätigt wurde. Während einer darauffolgenden Akne rosacea Behandlung wurde eine Keratitis links diagnostiziert und auch eine Pupillenträgheit rechts festgestellt ("Marcus Gunn- Pupillenphänomen"), die im weiteren Verlauf zu der Endeckung von Drusen im rechten Sehnervenkopf führte. Den VTS-CV Farbsehtest auf binoculare Weise bestand er mit 11 von 14 Richtigen, bei dem monocularen Verfahren ließ der Pilot links zwei Bildtafeln aus und rechts war nur eine richtig. Farnsworth 15- und 1oo-Farbsehtest

deckte rechts einen bedeutenden Defekt der Farbsehschärfe auf und links bestanden normale Verhältnisse, was durch das Anomaloscope nach Nagel bestätigt wurde. Gleichfalls zeigte sich auf dem rechten Auge mit dem Netztest nach Amsel eine Verzerrung von fast 8-1o % vom Fixationspunkt, der sich links im Normbereich bewegte. Die Gesichtsfeldmessung nach Goldmann enthüllte für das rechte Auge einen großen Defekt im oberen nasalen Quadranten.

Obwohl seit 19 Jahren jährlich untersucht, wurden bei dem Patienten die Drusen nie entdeckt. Diese Kombination von Ausfall bzw. Erkrankung des Auges (Gesichtsfeldausfall aufgrund von Drusen und einem Marcus Gunn Pupillenphänomen bei diesem 41 Jahre alten Piloten) ist sehr selten und wurde bisher nur bei großen Akutanfällen von Gesichtsfeldausfällen[185] beschrieben.

Mit einer anderen Art von Sehstörung, nämlich dem Black-out, und dem Einfluß der Geschwindigkeit auf dieses Phänomen beschäftigt sich Duane[191], der gleichzeitig versucht, eine klare Definition von Blackout zu geben, und meiner Meinung nach am besten alle bis dahin diesbezüglich durchgeführten Experimente, Untersuchungen und Beschreibungen zusammenzufassen.

Blackout ist bei ihm "ein Ergebnis positiver Beschleunigung und begleitet von einer Abnahme arteriellen Hirndrucks oder von einem intraocularen Druckanstieg, wobei die Person, sei es im Flugzeug, in der Zentrifuge oder während der Ophthalmodynamometrie, nicht das Umgebungslicht sehen kann, obgleich sie Gedankengänge ausführen und auf verschiedenartige Reize reagieren kann". Dieser Begriff schließt im Gegensatz zum Gray-out, der einen nebelhaften Zustand mit geschrumpftem Sehfeld und möglicherweise aufge-

hobenem Farbsehen darstellt, den totalen Sehverlust nebst dem Licht des Ophthalmoscops ein. Der Unterschied bei beiden liegt auch am Zustand der Retina bezüglich Hell- oder Dunkeladaptation und dem Sauerstoffpartialdruck des Bluts. Duane untersuchte die Einwirkung von negativer Beschleunigung (Zentrifugalkraft in Richtung Fuß-Kopf), von positiver Beschleunigung (Richtung Kopf-Fuß oder parallel zur Vertebra) und von der quer verlaufenden G (Richtung Brust-Rücken oder umgekehrt, d.h. Fliegen im Liegen) auf das Sehvermögen und die Auswirkungen einer lokalen Ischämie. Neben den augenärztlichen Befunden traten auch Veränderungen im Gehirn auf, in Form von subarachnoidalen Hämorrhagien bei -4o G für 15 Sekunden und einer Verlangsamung cerebraler Zirkulation bei Tierversuchen. Bei positivem G wurden die Ergebnisse von Henry et al.[192] bestätigt, daß die cerebralen Anteile des Sehweges vor den Anteilen der Netzhaut ausfallen.

Andere Untersuchungen am menschlichen Fundus ergaben, daß bei fast 4,5 G der Proband eine Trübung mit peripherem Lichtverlust bei Fixierung auf einen Punkt bemerkte. Gleichzeitig begann die arterielle Aufzweigung sich rhythmisch zu öffnen und zu schliessen. 2-3 Sekunden danach erlosch der Lichteindruck und die Arteriolen stellten ihre Pulsation ein und zeigten Blutleere. Jetzt war der Zustand des Blackout erreicht. Nach Reduzierung von G begann wieder die zuvor erwähnte arterielle Pulsation und gleichzeitig erschienen die Venolen wie pralle Luftballons, aber nur für kurze Zeit. Die Gefäße kehrten zu normalen Verhältnissen zurück und der Proband erlangte sein volles Sehvermögen wieder. Besser verträglich scheint die quer zur Längsachse verlaufende Beschleunigung zu sein. Dennoch beeinträchtigt sie die Respira-

tion, hat Einfluß auf Herz und Zirkulation und auch auf den optischen Apparat. Für die Beschleunigung wurde auch festgestellt, daß bei der G-Einwirkung, die die Augäpfel hervortreten ließ (EBO), der Pilot größere Sehprobleme hatte. In diesem Beschleunigungsfeld setzte ein mächtiger Schleier, hervorgerufen durch Tränenfluß, die Leistungsfähigkeit des Piloten herab. Ebenfalls zeigte sich, daß die Respiration unter der Einwirkung der Acceleration, die die Augäpfel hervortreten ließ (EBO), besser ist als bei der, die die Augäpfel einwärts drehte (EBI).

Schon vor dem 2. Weltkrieg hatte man in Deutschland herausgefunden[5,193,194], daß der Mensch 12 G 3 Minuten lang und 17 G für 5 Sekunden in der querverlaufenden Position ertragen konnte. Die gleichfalls beschriebenen Veränderungen am Auge (White[195]) in dieser Beschleunigungsebene konnten nicht bestätigt werden.
Ein weiteres Hilfsmittel, um experimentell bei niedrigen G Blackout hervorzurufen, stellt die Ophthalmodynamometrie dar und sie läßt sehr genau den Sehverlust unter Belastung aufzeichnen.

Die Wechselwirkung von Ophthalmodynamometrie und +G bei Lichtstimulation zeigt, daß eine inverse Beziehung zwischen Makula und Peripherie bezüglich dieser Stimulation vorgelegen habe. Wenn die Peripherie nicht aktiviert wurde, so verschwand der Lichtreiz. Die Schlußfolgerung war, daß nicht die höheren, cerebralen Schwege Blackout hervorriefen. Während des Experiments verschwanden visuelle Eindrücke bei diesem Phänomen auf folgende Weise: zuerst ist das nasale Gesichtsfeld, dann der temporale Bereich und schließlich das Gebiet zwischen dem Areal des schärfsten Sehens und dem blinden Fleck betroffen gewesen. Dabei wurde auch festgestellt, daß jede Behinderung der Zentralarterie in der Netz-

haut mit einem gleichzeitigen nasalen Gesichtsfeldausfall in der temporalen Retina zur Geltung kommt.
Die durch Beschleunigungs- und Ophthalmodynamometrieuntersuchung gewonnenen Ergebnisse, die auch das ERG und occipitale EEG zugänglicher werden ließen, haben in Verbindung mit den Studien über Sehvermögen und Gesichtsfeldern, Fundusdiagnosen und Pupillenreflexe neue Ausblicke in der Beurteilung des Phänomens Blackout entstehen lassen.
In diesem Zusammenhang sind die Bremsversuche von Stapp[196] bemerkenswert, der die Wirkung der Erträglichkeit für kurzfristige, ruckartige negative Beschleunigung untersuchte. Für seine Versuche benutzte er einen raketenbetriebenen Schlitten, der in Sekunden eine Geschwindigkeit von über 1ooo km/h erreichte. Bei den Abbremsmanövern hielt Stapp unbeschadet eine negative Beschleunigung von 6o G aus, d.h. er saß mit dem Rücken in Fahrtrichtung. In umgekehrter Sitzrichtung ertrug er nahezu 5o G. Einer der Gründe für die Sehbeeinträchtigung ist auch die Gewichtszunahme des Blutes, die große Druckunterschiede bewirkt. Außerdem muß man in solchen Beschleunigungssituationen bedenken, daß sich die Herzebene 3o cm unterhalb der Augen befindet, und diese Distanz dabei zu Hirn- respektive Augendurchblutungsstörungen führen kann. Unter erhöhtem G versackt das Blut in die Region Becken-Bein und der Reflux in Richtung Herz verschlechtert sich zunehmend, fast bis zu einem annähernden Leerlaufpumpen des Herzens, wobei Ohnmacht oder "Fliehkraft-Überlastungskollaps" auftritt. Bei Reduzierung der Beschleunigung kehren das Bewußtsein und normale Kreislaufverhältnisse wieder.
Eine Variante bei diesen Beschleunigungsversuchen ist, daß der Pilot zusammengeduckt den Versuch ausführt und somit die cardiale-

cerebrale Höhendifferenz auf etwa 2o cm mindert und dadurch das Ertragen der G-Wirkung um etwa 1,5 G hinaufschraubt.
Eine andere Lösung bieten die Anti-G-Schutzanzüge, die durch aufblasbare Manschetten, die über dem Bauch, den Oberschenkeln und Waden angebracht sind, ein Versacken des Blutes stoppen und gleichzeitig eine G-Erhöhung um 2 G ermöglichen.
Wie schon hin und wieder aus Astronautenberichten ersichtlich, traten während ihres Raumaufenthalts merkwürdige Blitze im Auge, Flackern über der Netzhaut oder sichtbare Spuren an Gegenständen auf. Diesem interessanten Phänomen widmeten sich Tobias et al.[19o] und untermauerten es mit ihren Experimenten an der menschlichen Retina. Denn es waren einige Spekulationen für ihre Ursache verantwortlich gemacht worden und diese Gruppe untersuchte daher die kosmische Strahleninteraktion im Auge oder entlang ihres visuellen Verarbeitungsweges. Die Probanden erhielten nicht mehr als 3o mrem auf die Augen bei jeder Untersuchung.
Das Phänomen war farblos und ereignete sich mit einer Häufigkeit von 1/2-2 pro Minute, besonders von der Apollomannschaft 11-14 beobachtet. Die am Cyclotron durchgeführten Versuche und die von den Astronauten beschriebenen Vorkommnisse schienen in etwa gleicher Natur zu sein. Tobias' Untersuchungen mit hoch- und niederenergetischen Neutronen und einem Heliumionenstrahl legen den Schluß nahe, daß langsame Protonen und Heliumionen mit einer Bremskraft höher als $1o^8$ eV/gramm cm^2 dieses Phänomen in dem an die Dunkelheit gewöhnten Auge hervorrufen können. Ebenso verursachen mit Neutronen und Heliumionen beladene Teilchen diesen Eindruck. Gleichzeitig behandelte diese Studie die Wechselwirkung kosmische Strahlung - Mensch - menschliches Nervensystem.

Tobias et al. arbeiteten mit Heliumionenbestrahlung der menschlichen Retina 4 Stadien von optischen Erscheinungen aus:

a) Sterne, die jenen nach Schädelverletzung glichen
b) breite Lichtblitze
c) schmale Lichtstreifen
d) "Supernova", d.h. breite Einzelblitze von mehr als einem Moment Dauer und mit einem Strahlenkranz von weniger als einem halben Grad Apertur.

Bei Verlagerung des Strahls vor die Retina, d.h. hinter die Linse und in die Sehnervenregion ergaben sich keine optischen Effekte. In Zusammenarbeit mit Apollo 14 traten bei der Mannschaft während 17 minütiger Beobachtung 48 optische Ereignisse ein, und zwar 28 im rechten Auge, 12 im linken Auge, ein Ereignis in beiden Augen und 7 ohne Lokalisation im Auge oder der Umgebung.
Zu erwähnen ist, daß die kosmische Strahlung im Weltraum um fast den Faktor 6o höher liegt als auf der Erde. Vorsichtige Schätzung aufgrund Strahlentreffer an Raumfahrerhelmen ergibt o,1 % Verlust der langen Nervenzellen durch Treffer. Dadurch kann aber auch der verzögerte Untergang von einigen Prozenten nicht regenerationsfähigen Gewebes aufgrund ihrer Verletzung hervorgerufen werden.
Wie schon früher beschrieben, rufen einzelne Dosen von Röntgenstrahlen, Neutronen und hochenergetischen Heliumionen eine irreversible Veränderung des äußeren Segments der Stäbchen in der Säugetierretina hervor, wobei das histologische Äquivalent mit einer tiefgreifenden Entstellung des Elektroretinogramms verbunden ist. Die Auswirkungen beschleunigter Heliumionen auf die Säugetierretina sind noch im Fluß. Diese Studie ist auch deshalb von Interesse, um die Ursachen kosmischer Strahlung nicht nur be-

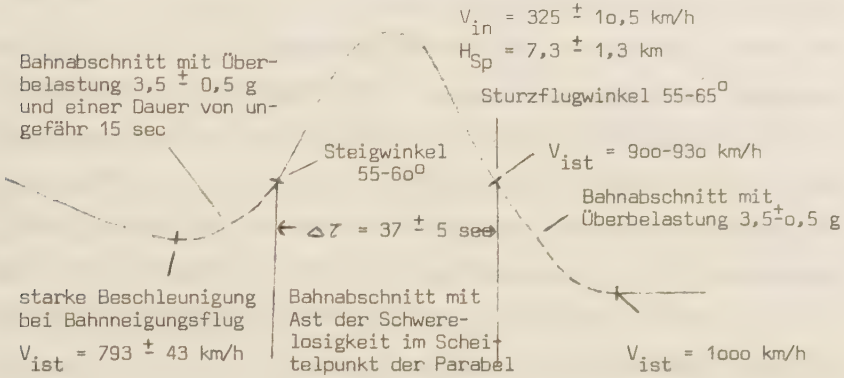
züglich chronisch degenerativer Erkrankungen oder Lebensverkürzung, Veränderung der Sehkraft im Gesichtsfeld, Kataraktbildung und Carcinogenese untersuchen, sondern auch die Auswirkungen von dieser Strahlung auf den gesamten Organismus beobachten zu können. Denn wir sind jetzt bestrebt, uns länger als bisher im All aufzuhalten und möglicherweise größere Vorstöße in den Weltraum zu unternehmen.
Die durch die Raumflüge gewonnenen Erkenntnisse zeigen, daß der Mensch durchaus in der Lage ist, sich unter diesen Gegebenheiten zu orientieren, wenn auch unter anderen Vorzeichen als auf der Erde. Damit meine ich, daß sich der Raumfahrer an andere Signale, die seine Lage oder Stellung ausweiten, gewöhnen muß. Diese mögen ihm, bezogen als Erdbewohner unter 1 g-Bedingungen, zunächst fremdartig erscheinen, aber sicher werden sie nach einiger Zeit zu ihrer Adaptation führen.
Mit der fortschreitenden Erforschung des Weltraums und anderer Planeten und den längeren Allausflügen wird das Problem der Orientierung und ihrer Störungen sicherlich hochinteressant werden, weil auch der Astronaut in manchen Situationen keinen Anhaltspunkt für eine optische Fixation besitzt. Ebenso werden durch die Raumfahrt mehr Fragen aufgeworfen als gelöst.

I.3. Sensorik, Sensomotorik und Koordination bei Fliegern und Astronauten

"All die Sinnestäuschungen im Raum werden jedoch, wenn der Mensch länger diesen Bedingungen ausgesetzt ist, mit der Zeit verschwinden", schrieb Ziolkowski[145] zu dem Thema von verschiedenen Sinnestäuschungen im Raum.

Damit die Astronauten ein Gefühl für die Schwerelosigkeit bekommen und ein Einblick in ihre Verhaltensweise und in ihre physiologischen Funktionen registriert werden kann, wird durch das Fliegen auf einer ballistischen Bahn dieser Zustand kurzzeitig hervorgerufen.

Flugbahn nach Lebedew:



V_{ist} = Geschwindigkeit, die tatsächlich vom Flugzeug erreicht wird (incl. Einbeziehung von Temperatur und Luftdichte)

V_{in} = Geschwindigkeit, die das Gerät anzeigt (Temperatur und Luftdichte unberücksichtigt)

V_{Sp} = maximale Steighöhe

Die russischen Wissenschaftler unterscheiden nach ihren Reaktionen 3 Gruppen.

Die erste Kategorie umfaßt alle Personen, bei denen keine wesentliche Verschlechterung unter diesen Umständen auftritt, zu denen auch sämtliche Kosmonauten zählen, was meiner Meinung nach im Gegensatz zu manchen Autoren[81] steht. Dabei treten Empfindungen wie Leichtigkeit oder Lockerung auf.

Die zweite Gruppe wird durch Gefühle von Drehungen und Einnahme unbestimmter Körperhaltung etc. mit gleichzeitiger, anfänglicher Unruhe charakterisiert. Neben Orientierungs- und Wahrnehmungstäuschungen zeigen sich Euphorie wie etwa leichtfertige Stimmung, Lachen und Vergessen des Flugprogramms usw., was aber samt den oben genannten Empfindungen durch Adaptation verschwindet. Diese Eindrücke schilderte ein Kosmonaut so: "Da ich die bei Schwerelosigkeit auftretenten Empfindungen theoretisch recht gut kannte, erwartete ich, daß ich sie schlecht vertragen würde; aber es verhielt sich umgekehrt. Dies rief ein freudiges Gefühl und schließlich eine Euphorie hervor. Mit dem Daumen gab ich den Kameraden ein Zeichen, daß es mir gut ging. Dann war die Schwerelosigkeit zu Ende, und es trat wieder die Überbelastung ein. Nach der Überbelastung hielt die Euphorie bis zum Beginn der zweiten Schwerelosigkeitsperiode an."

Daß sich daneben auch Reaktionen bei den Piloten zeigen, liefert die folgende Beschreibung: "Acht bis zehn Sekunden nach dem Eintreten der Schwerelosigkeit hatte ich das Gefühl, als ob der Kopf anzuschwellen und immer größer zu werden beginnt. In der 13. Sekunde trat der Eindruck einer langsamen Körperdrehung in unbestimmter Richtung auf. Erst nach 15 Sekunden begann ich, die räumliche Orientierung zu verlieren; deshalb führte ich das Flugzeug aus der parabolischen Flugbahn heraus."

Unter anderem treten auch psychische Entfremdungen auf, gleichbedeutend mit psychischer Hilflosigkeit.

Die dritte Gruppe besteht aus Personen mit Symptomen wie Desorientierung, Sinnestäuschungen, Bewegungsübelkeit und Wahrnehmungstäuschungen, die sich bis zu Angstpsychosen, motorischer Aktivi-

tätszunahme und plötzlichem Aufschreien ausarten, die Gorbow et al.[146] mit dem sogenannten Weltuntergangserleben umschrieben.
Die Informationen, die von Druckrezeptoren in der Haut und im Unterhautzellgewebe und von den Barorezeptoren des Herz- und Gefäßsystems zum Zentralnervensystem ziehen, bestätigen ebenfalls sensorische Veränderungen bei den Raumfahrern unter Allbedingungen.
Außerdem zeigte sich bei der Aufzeichnung bioelektrischer Aktivität der Antischwerkraftmuskeln ein Fehlen der Muskelkräfte, die unter 1 g-Wirkung die aufrechte Körperhaltung in der Vertikalen ermöglichen. So sank die Amplitude der Muskelaktionspotentiale des Halses von 13o - 18o/uV (Horizontalflug) auf fast 4o-5o/uV ab, sogar mit vereinzelten Fällen von bioelektrischem Schweigen.[147]
Ebenso wurde beim EEG eine Amplitudenabschwächung der Biopotentialen mit gleichzeitiger Frequenzerhöhung beobachtet.
Daneben verweise ich auf die sensorischen Wahrnehmungen des Kosmonauten Titov[81], der auf seinem Flug von Bewegungsübelkeit geplagt wurde, die bei Kopfwendung zunahm und die Gegenstände schwimmen ließ und gleichfalls durch Blinken von Gegenständen z.B. durch die vorbeilaufende Erde hervorgerufen wurde. Desorientierung trat nicht ein.
Außerdem zeigt sich in den sensorischen Wahrnehmungsstörungen ein gewisser Phasenablauf, der in dem ersten Abschnitt nur zu flüchtigen Täuschungen führt, im zweiten Teil Empfindungen räumlicher und körperlicher Desorientierung und schließlich im dritten Abschnitt Störungen mit verkehrter Umweltaufnahme und deren wahnhaften Auslegung entstehen läßt.
Zu dem Thema Sensorik ist auch die Untersuchung von Peters et al.[153] für die Raumfahrt interessant, die sich auf die Hypothese von

Petrie[154,155] stützt. Da sich nach Petrie eine umgekehrte Beziehung zwischen Schmerzempfindung, Personalität und Leistung unter abgeschwächten sensorischen Reizzustrombedingungen zu geben scheint, sollte seiner Vorstellung nach diese Korrelation als Auswahlverfahren für Astronauten angewandt werden. Zum Einen sollten die Anwärter, die äußerst schmerzempfindlich sind, genommen werden, weil sie herabgesetzte sensorische Reizimpulse lange Zeit ohne Leistungsabfall ertragen können. Zum anderen können jene, die eine Zeitlang Schmerzen aushalten, nicht den Zustand sensorischer Abschwächung ertragen und würden abnorme Leistungsprofile an den Tag legen. Die schon stets beschriebenen Gefühle von verstärkter Angst und Rastlosigkeit wurden beobachtet, aber nur in geringem Ausmaß das Auftreten von Halluzinationen.
Die Ergebnisse zeigten, daß Personen, die am stärksten Schmerzen und eine abgeschwächte Sensorik ertragen konnten, weniger unter Angst mit begleitenden Kopfschmerzen und Unwohlsein litten. Sie blieben auch längere Zeit in guter Verfassung als jene, die am wenigsten Schmerzen und einen reduzierten sensorischen Reizzustrom ertragen konnten. Daher konnte Petrie's Hypothese nicht bestätigt werden und die Studie offenbarte eher eine direkte Beziehung zwischen dem Ertragen von Schmerzen und dem sensorischen Verlust. Ihre Auswirkungen auf das Raumfahrtprogramm muß noch weiter geklärt werden.
Neben der Sensorik interessiert die Wissenschaftler natürlich das Problem, wie wird bei dem Piloten und dem Astronauten die Koordination seiner Muskeln vorsichgehen, wenn die von der Erde gewohnte Schwerkraft wegfällt und welche Auswirkungen hat dieser Einfluß auf das Flugverhalten.

Man fand, daß unter Schwerelosigkeit überschießende Bewegungen ausgeführt werden, weil die Nerven trotz der jetzt geringeren Trägheitsüberwindung stets hohe Impulse aussenden. Die Auswertungen von Raumflügen ergaben eine Geschwindigkeitsabschwächung unter diesen Bedingungen. Auch wird bei durchgeführten Zielversuchen eine Abweichung nach oben und eine Ungenauigkeit der Treffer beobachtet. Eine besondere Aufmerksamkeit wurde der korrekten Bedienung der Steuerungshebel an Apparaturen geschenkt, da - wie Versuche an den Tag legen - der Raumfahrer sich gewaltig bei ihrer Betätigung verschätzt und sie viel stärker als nötig gehandhabt wurden. Professor K.K.Platonow legte die allgemeinen Prinzipien über funktionelles Gestalten logischer Anordnung von Anzeigen im Flugzeug und Raumgefährt dar. Wichtige Geräte müssen den zentralen Platz im sensorischen Feld besitzen, weniger wichtige können seitlich angeordnet sein und sogar unter einem Winkel von 25^{o} ausreichend exakt abgelesen werden. Von Wichtigkeit ist die Anordnung der Kontrollgeräte in der Breite und Tiefe, und zwar aufgrund des Auffassungsbereichs und der ermüdenden Einwirkungen des beständigen Wechsels von Akkomodation und Konvergenz bei der visuellen Wahrnehmung. Durch vermehrte Flüge in Schwerelosigkeit und beständige Fehlerkorrektur läßt sich dieses Phänomen rasch beheben.

Aber die schriftlichen Aufzeichnungen während des Raumflugs zeigen in starkem Ausmaß Veränderungen in der Feinkoordination. Die muskuläre Kraftkomponente und das Wechselspiel zwischen Peripherie und Zentrale der Motorik haben sich gewandelt. Die häufigsten Veränderungen treten zu Beginn der Flüge auf. Die Merkmale äußern sich in einer andersartigen Strichführung von Buchstaben

und Schriftelementen, in einer Ungleichmäßigkeit der Zeilen und unregelmäßigen Handbewegungen beim Schreiben[152]. Den Grund liefert die schlechte Abstimmung grober Bewegungen des Arms und der Hand mit den feinen Hand- und Fingerbewegungen. Daneben lassen sich Fahrigkeiten und Strichunterbrechungen, Eckenbildungen an ovalen und bogenförmigen Buchstaben nebst anderen unregelmäßigen Befunden erkennen. Zu Beginn des Flugs, so stellten die Wissenschaftler fest, tritt eine Erschwerung in der Koordination ein. Sehr stark verändert waren die bogenförmigen Schriftzüge. Kurzum, es wurde eine Vereinfachung sowohl in der Bewegung (entweder Beugung-Streckung oder Adduktion-Abduktion) als auch in der Struktur der Buchstaben neben der feinen Verbindung ansonsten getrennter Schriftzeichen vermerkt. Je länger solch eine Mission dauert, desto eher tritt eine Adaptation an diese neue Situation ein. Vor dem II. Weltkrieg wurden schon von Koschel et al. in Deutschland diesbezügliche Untersuchungen von Schriftproben bei Fliegern durchgeführt.

Die Koordination der motorischen Muskeln spielt auch in der Bewegung während eines Raumaufenthalts sowohl innerhalb als auch ausserhalb des Fluggefährts eine große Rolle. Nach anfänglichen "wilden Schwimmbewegungen" erhalten die Probanden im Training das richtige Gefühl und Verhalten für diesen Schwebezustand. Von den Kosmonauten Nikolajew und Popowitsch kommentierte einer ihre Situation so: "Um Drehbewegungen auszuführen, mußte ich mich mit der Hand vom Boden abstoßen. Das Drehtempo hing dabei von meiner Stellung ab. Um das Drehtempo zu steigern, mußte ich mich zusammenhocken; um es zu verlangsamen, mußte ich mich ausstrecken." Sie berichteten auch von einer Körperverlagerung an die Decke der

Raumkapsel, die sich vielleicht durch die Rotation des Fahrzeugs erklären läßt, wodurch sich eine leichte Zentrifugalkraft entwickelt. Ein Phänomen ist zu beachten, da nämlich unter diesen Schwebebedingungen eine vom Astronaut ausgeführte Bewegung oder Tätigkeit Reaktio-Kräfte entstehen läßt, durch die er in die Gegenrichtung bewegt wird. Dies ist deshalb von Wichtigkeit im Hinblick auf künftig häufigere und längere Spaziergänge im All oder Tätigkeiten außerhalb der Raumlabors. Zu Beginn sind die Bewegungen hart und kantig, in der Horizontalen als auch in der Vertikalen werden nicht gewollte Bewegungen bemerkt, die aber bald ausgeglichen werden. Ein Astronaut schilderte, daß "die Annäherung an die Schleuse leicht auszuführen war, weil ich mich am Verbindungsseil heranzog. Ich hatte damit einen Orientierungspunkt und kannte die Bewegungsrichtung. Man muß die Annäherung und Ausstiege mit flüssigen Bewegungen durchführen. Wahrscheinlich kann man in der Schwerelosigkeit schon mit Hilfe eines ganz geringen Stützungspunktes beliebige Arbeiten ohne merkliche Störungen der Bewegungskoordination verrichten." Daraus läßt sich entnehmen, daß der zukünftige "Spaziergänger" sich zwar gut orientieren, koordinieren und auch Tätigkeiten verrichten kann, für letzteres aber eine Haltevorrichtung benötigt. Die etwaigen Gegenbewegungen kann er wie Astronaut White zum Beispiel mit einer Rückstoßpistole oder ähnlicher Konstruktion gleichen Wirkungsprinzips ausgleichen. Die Beziehung zwischen einer beabsichtigten motorischen Handlung und ihrer visuellen, kinästhetischen und propriozeptiven Folge hängt von den gegenwärtig herrschenden Gravitations- und Trägheitskräften ab, wenn diese Handlung vollzogen wird.
Zu diesem Thema vertreten manche Autoren[156,157] die Meinung, daß

die Zeigebewegungen unter Og-Bedingungen zu hoch und unter verstärkter Schwerkraft (größer als 1 g) zu niedrig liegen, während andere Wissenschaftler[158,143] genau das Gegenteil behaupten. Aufgrund dieser Widersprüche untersuchte Cohen[159,160] die Auswirkungen von 1,o, 1,5 und 2,o G_Z hinsichtlich visuell-motorischer Koordination.

Bei der Exposition von 2,o G_Z zielten die Probanden anfangs unterhalb und dann oberhalb der von einem Spiegel projizierten Abbildung. Die letztere Abweichung wird auch die "Fahrstuhl-Illusion" genannt[158].

Unter 1,5 G_Z-Bedingungen versuchten sie oberhalb des Zielpunktes hinzudeuten. Für 1,o G_Z-Verhältnisse gab es keine Koordinationsveränderungen.

Bei Wegnahme der Beschleunigungskräfte traten flüchtige Nachwirkungen mit dem Zielen oberhalb des Markierungspunktes auf, bevor die Ausgangssituation erreicht wurde. Diese Effekte, die sich auch auf den ungeübten kontralateralen Arm übertrugen, zeigten, daß einige zentrale Vorgänge bei Zeigebewegungen mit beiden Armen für eine 2,o G_Z-Umgebung rekalibriert worden waren. Jene Rekalibration bestand noch vorübergehend unter dem 1,o G_Z-Test. Dabei müssen individuelle Unterschiede berücksichtigt werden.

Die Ergebnisse deuten an, daß die Beziehung zwischen beabsichtigten motorischen Handlungen und ihren propriozeptiven-kinästhetischen Folgen eine entsprechende Auskunft über schnelle Verhaltenskompensation und Gewöhnung hinsichtlich veränderter Beschleunigungskräfte liefert. Daneben spielen unter diesen Umständen noch vestibuläre oder senso-tonische Faktoren mitherein, wenn Veränderungen in Form augenscheinlicher Erhöhung der Zielpunkte vorsichgehen.

Wie bekannt ist, bedeuten der Landeanflug und die Landung starke nervale und neuro-humerale Belastungen für den Piloten. Daher wurde in der Studie von Nicholson et al.[161] diese Situation wissenschaftlich untersucht. Während des Landemanövers wurde das EKG und nach der Landung der Fingertremor registriert. Bei einer glatten Landung betrug die physiologische Veränderung bezüglich des mittleren Blutdrucks zwischen 4oo und 45o msec und für den Fingertremor zwischen o,3 und o,8 $msec^{-2}Hz^{-1}$ bei einer Frequenz von 1o Hz. Während widriger meteorologischer Verhältnisse und schlechter Kontrollüberwachung zeigte der gemittelte Blutdruck bei der Landung weniger als 4oo msec, aber der Fingertremor bei 1o Hz blieb weniger als o,8 $msec^{-2}Hz^{-1}$.

Das Auftauchen eines beständig ungelösten Problems oder eines Problems neueren Datums mit besonderer Tragweite war von einem mittleren Druckwert von weniger als 4oo msec, aber einem Fingertremor zwischen o,8 und 1,3 $msec^{-2}Hz^{-1}$ der 1o Hz-Frequenz begleitet. Der Blutdruck spiegelt vermutlich die ganzen Belastungen während des Tiefergehens, des Landeanflugs und der Landung selbst wieder. Dagegen sind die Veränderungen bei dem Fingertremor mit unvorhergesehenen Ereignissen in dem Zeitraum des Anflugs verknüpft.

Der Autor[161] meint bezüglich des Fingertremors, daß neben einer entschiedenen Tachycardie komplexe ballistocardiographische Effekte nicht ausgeschlossen werden können. Außerdem spielt für diese Landungen die Katecholaminausschüttung eine Rolle, die mit Adrenalingaben Einfluß auf den Fingertremor nimmt.

Bei diesen Landemanövern können zwei physiologische Stadien unterschieden werden, die von dem Zentralnervensystem geprägt werden:

1) Bei Landung ohne unvorhergesehene Ereignisse treten sehr starke Herzbeschleunigung und begrenzter Fingertremor auf.

2) Bei komplizierter Landung zeigt sich starker Fingertremor in Verbindung mit einer möglichen Katecholaminzirkulation.

Im Rahmen dieser Beschreibung ist auch das Tetaniesyndrom für die Flugsicherheit und die Ausführung einer Flugmission jeglicher Art von Bedeutung, das sich in neurovegetativer und neuromuskulärer Übererregbarkeit verschiedenster Ursache äußert. Abhängig von der neurovegetativen und psychischen Widerstandskraft des Piloten muß die Prüfung von fliegerischer Tauglichkeit die individuelle Komponente dieses Punktes einstufen, wobei das Tetaniesyndrom als verstärkte Reizbarkeit des Nervensystems, vorallem von peripheren Nerven nebst Neurovegetativum in Erscheinung tritt. Neben den bekannten Nachweismethoden für Tetanie und der angewandten Hyperventilation läßt sich die Elektromyographie, abgeleitet vom ersten Interosseusmuskel der Hand, als eine der zuverlässigsten Methoden zur Aufzeichnung des Tremors der Handmuskeln bezeichnen.
Neben der Orientierung im Raum mittels der zuvor beschriebenen Wahrnehmungsorgane erfolgt auch in gewissem Sinne eine Wahrnehmung mittels sensorischer Reizsignale, die sich gekoppelt mit den anderen nervalen Impulszuströmen zu einer Gesamtheit zusammenschließen und die Umwelt für unsere Vorstellungen plastischer erscheinen lassen. Doch daß alle diesbezüglichen Erfahrungswerte noch nicht endgültig sind, ist sehr offensichtlich und bedürfen weiterer Abklärung.
Die Ausführungen lassen erkennen, wie wichtig eine richtig ausgebildete Koordination und eine gut ausgeprägte Sensorik bei Piloten und Astronauten sind, um sich in großen Höhen und im All unter den jeweiligen Gegebenheiten zielsicher und unbeschadet zu bewegen, das Fluggefährt exakt zu steuern und die treffenden Ent-

scheidungen in diesen Situationen zu fällen. Dies muß schon vorher durch neurologische Untersuchungen und Trainingsprogramme festgestellt bzw. den zukünftigen Fliegern und Raumfahrern durch ausgeklügelte Lernmethoden beigebracht werden, um Erfolge in der Luft- und Raumfahrt zu verzeichnen.

I.4. Gefühl der Zeitauffassung

Bei der Ausführung seiner Operationen muß der Astronaut den Verlauf seiner Aktionen zeitlich genau überschauen und planen können. Während des Aufenthalts im All wirken auf den Menschen Schwerelosigkeit, beschränkte Bewegungsfreiheit, ein Gefühl der Isolierung und andere Höchstbelastungen ein, die ihn in seiner räumlichen und zeitlichen Wahrnehmung stark beeinflussen. Infolge wissenschaftlicher Untersuchung stellte man fest, daß durch jedes Sinnesorgan oder durch akustische, taktile, optische und weitere Einflüsse eine Zeitauffassung erfolgen kann.
Durchschnittlich o,25 - o,3o sec. beträgt das Zeitintervall der Wahrnehmung und der Verarbeitung einer elementaren Information. Die geringste Reaktionszeit auf schnell ankommende Signale liegt bei o,25 sec mit Intervallen von o,57 - 2,9 sec, wobei sich das Grenzintervall nicht unter o,5 sec beläuft. Bei zu kleiner Verabfolgung kommt es zu einer verzögerten Reaktion auf den nächstfolgenden Reizimpuls. Diese Erscheinung menschlicher Informationsvorbereitung ist als psychologische Refraktärzeit bekannt.
Die Funktion der Augenmuskeln ist nicht nur an der Abschätzung räumlicher, sondern auch zeitlicher Einheiten beteiligt, wenn auch mit größeren Schwierigkeiten.
Genau das Gegenteil stellt das Ohr dar, das vorallem neben der

Akustik auch Zeiteinteilungen vornehmen kann. Es sei nur an das Metronom als Beispiel verwiesen.

Der Raumflug ist für die Astronauten gleichbedeutend mit einer Stressituation mit all ihren positiven oder negativen Emotionen, die sie die Zeit subjektiv über- oder unterschätzen lassen.

Eine wissenschaftliche Untersuchung an Kampffliegern ergab, daß sie zu Beginn ihrer Ausbildung sich rasch nähernde Objekte vorzeitig beschoßen. Die Ursache wurde als eine Gleichgewichtsstörung nervaler Vorgänge aufgrund einer Hemmung erklärt, die die Erregung der Großhirnrinde überwog.

Besonders geeignet sind für das Zeittraining von Astronauten das Fallschirmspringen mit der Wiedergabe von Zeiteinheiten. In seinem Bericht schrieb Gagarin[148], daß er beim ersten Mal das Gefühl verspürte, "der Fallschirm öffne sich nicht", doch dieser hatte sich rechtzeitig entfaltet und "er habe zu zeitig an den Reservefallschirm gedacht." Die Kosmonauten erlebten, daß der freie Fall anscheinend zu schnell vonstatten geht und sie an die Reißleine zu denken haben. Denn dadurch lernen sie sowohl eine Abstimmung ihrer Bewegungen in freischwebendem Zustand als auch Zeitabschnitte abzuzählen.

Eine besondere Bedeutung gewinnt das Zeitdefizit, das im Gegensatz zu irdischen Berechnungen bei Überschallflügen und Raumunternehmen stark in den Vordergrund tritt. Unter diesen Umständen haben die Piloten nur Sekunden oder auch nur Bruchteile von Sekunden zu exakten Reaktionen oder beim Allflug zur genauen zeitlichen Abstimmung der Landung etc. zur Verfügung.

Die in der Raumkapsel herrschende Stille und das Fehlen der dem Menschen gewohnten Reize lassen sich mit einer Folgerung Pawlows vergleichen, die besagt: "Eine normale Großhirnrindenfunktion

kann durch einen ständigen nervalen Impulszustrom aufrecht erhalten werden, der von den Sinnesorganen über die subkortikalen Zonen läuft. Eintönigkeit dagegen und stets gleiche Eindrücke bewirken bei ausreichendem Fehlen von Umweltreizen eine Abschwächung des Tonus der Großhirnrinde, die auch eventuell in psychische Störungen ausarten kann." Die Wissenschaftler bezeichnen dieses Gefühl als "sensorischen Hunger", der sich dabei auch in motorischer Unruhe zeigen kann.

Für uns ist wichtig, daß ein gestörtes Zeitgefühl der Untersuchten auftrat und sie wegen der Ungewißheit, zu schlafen oder zu wachen, niedergeschlagen waren. Dies wurde von einer Phase der Wahnvorstellungen und des Phantasierens abgelöst und der Versuch mußte auf Weigerung einiger nach 24-72 Stunden abgebrochen werden. In der Untersuchung wurde unter anderem auch eine starke Herabsetzung der Reizimpulse dadurch erreicht, daß sich die Probanden in Wasserbehältern aufhielten. Die Reaktionen, wie Panik, Träume oder Halluzinationen unterscheiden sich in Qualität, Quantität und Zeit, zu der sie auftreten. (Die von den russischen Wissenschaftlern benutzte "Schweigekammer" bestätigt einen längerdauernden Aufenthalt im All mit voller Arbeitsfähigkeit der Kosmonauten.)

Kusnezow et al.[149] beschrieben Sinnestäuschungen, die mit dem falschen Erkennen von Reizen zusammenhingen, deren charakteristische Information für ihre Richtigkeit nicht ausreichte. Daneben trat ein Gefühl von der Anwesenheit weiterer Leute in der Schweigekammer auf. Subjektiv wurden real geglaubte Träume und Vorstellungen und die Entstehung überwertiger Ideen und anderes empfunden. Die parallelen Zeituntersuchungen der Wiedergabe vorgegebener Zeitabschnitte bestätigten bereits Abweichungen zu Beginn des Tests,

der sich aus Proben zu 2o Sekunden, dann die gleiche Prüfung in Verbindung mit einer Rechenaufgabe und schließlich dasselbe Verfahren beim Training am Steuergerät der Raumkapsel zusammensetzte. Die größten Abweichungen traten während der Rechenaufgabe und der Übung mit dem Steuergerät auf.

Die Autoren konnten eine Dreiteilung vornehmen, die zum Einen aus einem subjektiven, schnelleren Zeitablauf, zum Anderen aus einer Verlängerung dieses Zeitabschnittes und als letzte Gruppierung aus einer Kombination von langen und kurzen Zeiteindrücken bestand. Individuell war noch eine weitere Aufteilung der unterschiedlichen Zeitschätzung zu Beginn, der Mitte und am Ende des Versuchs zu vermerken.

Besonders Kolossow et al.[13o] untersuchten die Zeitwahrnehmung im Zustand der Schwerelosigkeit, wobei die Zeiträume anfangs unterschätzt wurden. Ein gleichzeitiges Gefühl von positiven Emotionen und eventuell Euphorie wurden verzeichnet. Das Gegenteil zeigte sich bei jenen mit negativen Gefühlseindrücken.

Daß sich die Zeitnehmung, die im Versuchsprogramm bei den Fallschirmsprüngen erworben wurde, als positiv und nützlich erwies, bestätigten Kosmonauten, die einer Wiedergabe von Zeitintervallen unterworfen waren. Daneben muß auch darauf geachtet werden, daß der Beobachter keinerlei zeitlichen Veränderungen bei der Schätzung unterliegt. Denn die Informationen von seiten der einzelnen Sinnesorgane unter Schwerelosigkeit sind stark verändert und kommen nur als Gesamtheit zur Auswirkung. Dennoch kann festgestellt werden, daß Astronauten bei ihrer Ausbildung Fähigkeiten zur Abschätzung von Zeitintervallen, besonders kleiner Abschnitte, erlangen.

Auch werden dann Veränderungen in der Zeitwahrnehmung auftreten, wenn das Raumfahrzeug die magnetische Sphäre der Erde verläßt. Die Raumfahrer werden gleichfalls mit dem Mangel starker Magnetfelder auf anderen Planeten, dem Auftreten sehr wirkungsvoller magnetischer Bereiche im All oder mit grundverschiedenen außerirdischen Magnetpulsationen konfrontiert.

Frequenzveränderungen der biologischen Potentiale des Gehirns haben gewissen Einfluß auf die Zeitnehmung des Individuums, wie EEG-Aufzeichnungen bewiesen. Einmal wurde bei Frequenzzunahme eine zeitliche Unterschätzung, die ihr jeweiliges Maximum bei direkter Frequenzänderung bei dem Schätzvorgang hatte. Wurde eine Fehlerkorrektur durchgeführt, so traten keine zeitlichen Abweichungen während der Rhythmusänderungen auf.

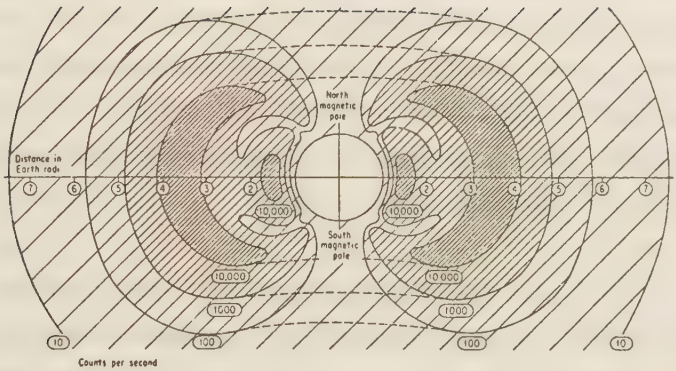
Daraus läßt sich ersehen, daß physikalische Einflüsse, besonders magnetischer Natur, Auswirkungen auf biologische Systeme, besonders auf die höhere Nerventätigkeit haben, hier in diesem Fall auf die Zeitwahrnehmung. Aber in welcher Weise, ob positiv oder negativ, dies muß sich noch ergeben.

II. Auswirkung anderer Einflüsse und ihre Reaktion auf biologische Systeme

II. 1. Wirkung kosmischer Strahlen

Außer den Belastungen, die während des Raumflugs auf die einzelnen Organsysteme einwirken und verschiedene Empfindungen bei dem Raumfahrer hervorrufen, gibt es noch einige Einflußfaktoren, die sich während der Allmissionen geltend machen und neurologische Auswirkungen zeigen.
Neben dem Auftreten von Dekompression auf dem Flug und dem Wechsel von Schlaf- und Wachrhythmen im All wird zu den stärksten Belastungsfaktoren die kosmische Strahlung gerechnet.
Daß wir auf der Erde von dieser Strahleneinwirkung nichts bemerken, liegt an dem atmosphärischen Strahlengürtel (van Allen-Gürtel, vgl.s.1o1a), der sich einmal bis in 4ooo km Höhe (von dem Äquator aus gemessen), dann nochmal bis in 1oooo km respektive 16ooo km Höhe erstreckt, mit unterschiedlicher Zusammensetzung hinsichtlich Energie und Flußdichte und mit größter Entfernung über dem Äquator aufgrund der starken Sonneneinstrahlung und geringerer Distanz über den magnetischen Polen. Nach wissenschaftlichen Untersuchungen scheint diese Strahlung drei Quellen zu besitzen:

a) die kosmische Strahlung klassischer Prägung, die stärker ist als die der Erde und die nicht unter 7o.ooo ft anzutreffen ist. Denn die Erdatmosphäre besitzt bis in diese Höhe die Wirkung eines Schutzschildes, vergleichbar etwa mit einer 18 cm dicken Aluminiumplatte.
b) die Strahlung von der Sonne einschließlich ihrer Eruptionsvorgänge
c) die magnetische Anziehung durch interplanetare Körper.



Darstellung des inneren und äußeren van Allen-Strahlengürtels nebst seiner Strahlungsintensität

nach Gerathewohl, S.J.

Principles of Bioastronautics, German Aviation Medicine World War II, Vol.I and II, Departm. of the Air Force, Washington, D.C., 195o

Von Astronauten hin und wieder berichtet[19o], ist es auch das Phänomen, den Eindruck huschender Blitze zu haben. Diese Illusion ruft jene Strahlung aus der Milchstraße hervor, die aus 9o % Wasserstoffkernen, zu 9 % aus Heliumkernen und etwa 1 % schweren Teilchen besteht und eine Energie von einigen Millionen bis etwa 1 Trillion eV besitzt, wobei aber ihre Teilchendichte sehr klein ist. Sie zeigt solche Stärke, daß sie alles durchdringt: die Astronautenhelme, an denen sich sichtbare Spuren fanden; die Sinneszellen der Retina mit Lichteffekten erregen und somit auch die Raumkapseln durchsetzen. Diese Strahlung tötet ebenfalls Nervengewebe ab, was aber bisher ohne physische Schäden ablief.

Gravierender können schon die schädlichen Einflüsse auf die Erbsubstanz sein, die vorallem durch die ionisierende Wirkung im lebenden Gewebe zustande kommt. Von dem sowjetischen Raumfahrerehepaar V. Tereschkowa und A. Nikolajew, die 1962 und 1963 nur einige Tage im All kreisten, wird gesagt, ihre Tochter sei mit einem körperlichen Erbfehler geboren worden. Ob diese Vermutung zutrifft, möchte ich dahinstellen. Wie bekannt ist, wird auch durch die Strahlenbelastung der körperliche Abwehrmechanismus stark in Mitleidenschaft gezogen.

Akzeptable Strahlendosen für Raumfahrtmissionen können in den meisten Fällen in der Größenordnung von 1o rad sein. Für die Mannschaften und Passagiere sich in großen Höhen bewegender Flugzeuge sollten sie sich mit den Richtlinien von JCRP[2o1] decken, die sich bei 1o mrem befinden.

Die Daten[2o2,2o3] bezüglich Strahlenergebnisse von amerikanischen und russischen Raumunternehmen enthalten Messungen, die für die

Bioastronautik sachdienlich sind außer rein biologischer Experimente unter diesen Bedingungen. In diesem Zusammenhang ist auch erwähnenswert, daß der Neigungswinkel bei russischen bemannten Raumflügen 65° betrug und daher die Kosmonauten mehr kosmische Strahlung abbekamen als ihre amerikanischen Kollegen mit einem Inklinationswinkel von 33°. Außerdem beeinflussen die Flugdauer, die Schutzhülle der Raumkapsel, die Strahlenwechselwirkung in biologischen Systemen, die absorbierte Dosisverteilung etc. die Quantität der Dosiskriterien. Für Flüge innerhalb eines Monats sollte die verträgliche Dosis 15 rem, für Raum- und Mondflüge 5o rem bei einem Grenzwert von 125 rem nicht überschreiten.

Von Interesse sind besonders die Untersuchungen an Taschenmäusen, an denen die Auswirkungen kosmischer Strahlung während und nach ihrem Flug mit Apollo XVII beurteilt wurden. Nicht nur das Gehirn und das Augengewebe zeigten mikroskopisch sichtbare Verletzungen, sondern auch viele andere Gewebe. Dabei mußte in Rechnung gestellt werden[2o4], daß

a) etwa nur 5o % der Strahlung durch die Dosimeter erfaßt wurden, da aus allen Richtungen die Strahlenpartikel kamen und die Mäuse in ihren Käfigen volle Bewegungsfreiheit hatten, wobei mögliche Strahlenteilchen durchgegangen waren oder in der Nähe des Gehirns geendet haben ohne jegliche Aufzeichnung, und daß

b) strahlenbedingte Verletzungen des Gehirns oder anderer Gewebe möglich waren ohne entsprechende Dosimeterregistrierung.

Die Lungen zeigten fast keine Veränderungen außer einer leichten Pneumonitis. Schilddrüse, Nebenschilddrüse und Herzmuskel er-

schienen normal. Erwartungsgemäß wurden bilateral Hämorrhagien in den Mittelohrräumen gefunden neben hämorrhagischem Material in pneumatisierten Zellen, polymorphkernigen Leukozyten und Leukozytenattraktion zur Resorption von Blutgerinnsel. Daß diese Erscheinungen vielleicht mit den Mucosaverletzungen der Riechschleimhaut in Einklang gebracht werden könnten, erschien aufgrund ihrer Verbindung mit den Eustachius Tuben als Erklärung möglich zu sein, dennoch muß die Beantwortung dieser Frage offenbleiben.

Was die Augen bzw. die Retina anbelangt, so hatten 5 Strahlenpartikel die Netzhaut in verschiedenen Entfernungen vom Sehnervenkopf durchdrungen, ohne sichtbare Verletzungen zu hinterlassen.

Das Epithel der Nervus olfactorius-Region, nicht aber das respiratorische Epithel[205] zeigte weitverbreitete Veränderungen bezüglich der Schichtdicke und der Anzahl wesentlicher Zellen und bot zahlreiche verstreute Fokalläsionen, die in kleinerem Ausmaß ebenso die Mucosa der während des Flugs verstorbenen Maus betrafen und im Gegensatz zu den Kontrolltieren standen. Gleichfalls war das Neuroepithel des vomeronasalen Organs davon betroffen.

Eine ganze Reihe Erklärungen wurden in Betracht gezogen, so etwa systemische oder regionale Infektion, inhalierte Staubteilchen von Weizenkörnern, Nebenprodukte des KO_2 in Aerosol- oder Partikelform, Gasverunreinigungen im Käfig während des Apolloflugs, flüchtige Autolyse-Substanzen von der toten Maus, Schwerelosigkeit und kosmische Strahlenpartikel. Es ergaben sich keinerlei definitive Folgerungen als Ursache für diese Verletzungen, außer daß sie nur in der Weltraumumgebung wirksam sein mußte.

Unterhalb der in dem Schädeldach eingepflanzten Dosimeter wurden Gewebsveränderungen festgestellt.[206] Überraschenderweise war die Riesenzellreaktion gering; daneben fand sich eine auffallende Atrophie des Schädeldachs unter den Ableitungspunkten für den Monitor. Die Fibrosierung der Dura mater war leicht und auf einige kleine Stellen begrenzt, während die Leptomeningen keine Änderung zeigten. Die Mitoserate im Gyrus dentatus des Hippocampus betrug nur ein Drittel von der der Kontrollgruppe. Insgesamt schien das Hirngewebe als auch die Meningen der Tiere, die an Bord von Apollo XVII waren, unverändert zu sein. Wenn kosmische Strahlenpartikel die Ursache von Schädeldachverletzungen sind, so kann eine Unterscheidung bezüglich Verletzlichkeit getroffen werden in der Hinsicht, daß mesodermales Gewebe (Schädeldach) eine hohe Verletzungsquote für Strahlenteilchen zeigt und neuroektodermales Gewebe (Meningen) eine niedrige Vulnerabilitätsquote.

Außerdem müssen diese Ergebnisse mit gewisser Vorsicht betrachtet werden aufgrund der Kleinheit des Mäusehirns, der Begrenzungsfaktoren des Dosimeters und der Verringerung der kosmischen Strahlenpartikel von hoher LET (d.h. linear energy transfer) durch die Raumkapsel und die Wandung der Tierkäfige.

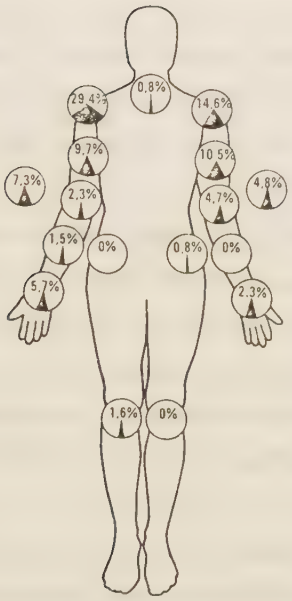
Daneben ist die zeitliche Exposition des Van Allen Gürtels so minimal, daß eine Strahlenbelastung für Mondexpeditionen kaum ins Gewicht fällt. Desgleichen wurden mit antioxydierenden Medikamenten große Erfolge erzielt, als auch durch die Schutzwirkung mit Ozon.

Trotz des Fehlens von Veränderungen im Gehirngewebe kann man dies nicht als Beweis dafür werten, daß das Gehirn keinerlei Schädigung von schwereren Strahlenpartikeln auf ausgedehnten Astronau-

tenflügen erleiden wird. Denn bisher waren die Chancen sehr gering, in der Erdkreisbahn mit harter kosmischer Strahlung in Berührung zu kommen, und auch definitive physische Auswirkungen an Raumfahrern konnten aufgrund ihres kurzen Allaufenthalts noch nocht beobachtet werden.

II. 2. Dekompression, ihre Folgen und wirksame Gegenmaßnahmen

Besonders gefürchtet bei allen Fliegern während des Aufenthalts in großen Höhen ist der plötzliche Druckabfall oder die Dekompression und damit verbunden der Sauerstoffmangel mit seinen Folgen. Trotz der Verwendung der Überdruckkabine (einstellbarer Innendruck auf 2ooo-25oo m Höhe) kann dieser Drucksturz durch Platzen eines Fensters oder der Kabinenverkleidung etc. auftreten. Bei Flügen über 7ooo m treten die im Blut gelösten Gase, Sauerstoff und Stickstoff, in Bläschenform auf und werden so durch den menschlichen Organismus transportiert. Trotz einer schnellen Resorption dieser Sauerstofform kann dies nicht vom Stickstoff verzeichnet werden.
Die Piloten klagen bei Bewegungen gelenknaher Körperabschnitte über Schmerzen des Schulter-, Hand- und Kniegelenks, wobei auch sensorische und motorische Ausfälle auftreten können (vgl. Schema nach Becker-Freysung, s.S.1o6a). Ebenfalls wurde über Todesfälle berichtet, wenn dieser Druckabfall zu plötzlich vorsichgeht, wie es aller Voraussicht nach bei den russischen Kosmonauten Wolkow, Pazajew und Dobrowolski während des Sojus 11-Unternehmens geschehen sein mag. Neben Augenflimmern, Tremor und Kopfschmerzen zeigen sich neurologische Ausfälle und Erscheinungen, wie etwa rauschartige Zustände, Müdigkeit, Krämpfe und Amnesie.



Druckfallkrankheit: Lokalisation und prozentuale Verteilung der Stickstoffbläschen ("bends") bei 11o Personen, die unter 21oo Untersuchten bei Aufenthalt in 12.ooo m Höhe festgestellt worden sind (überarbeitet nach Becker-Freyseng)

Erwähnen möchte ich noch, daß die in den Zellen freigesetzten Gasbläschen durch ihre Expansionswirkung auch zu einer Fettembolie führen können.

Aufgrund gemachter Erfahrungen wurden von Prof. Luft systematische Höhenanpassungsversuche im Hochalpinen als auch in Druckkompressionsanlagen im Rahmen der Pilotenausbildung bis Kriegsende durchgeführt.

Daneben waren Schwierigkeiten der Atmung unter diesen Bedingungen, Veränderungen des Sauerstofftransportes durch das Blut, vorallem die Reaktionsweise von Hämoglobin zu verzeichnen. Wie schon in früheren Höhenlagenversuchen angewandt, werden für die Auswirkungen von Sauerstoffmangel sauerstoffarme Gasmischungen benützt. Diese mit einem Sauerstoffgehalt von 7 Vol.% entsprechen einem Höhenwert von 7500 m.

Der auftretende Sauerstoffmangel führt auch zu geistigen Funktionsstörungen mit EEG-Veränderungen, sobald ein bestimmter Spannungswert an Sauerstoff im venösen Hirnblut unterschritten wird.

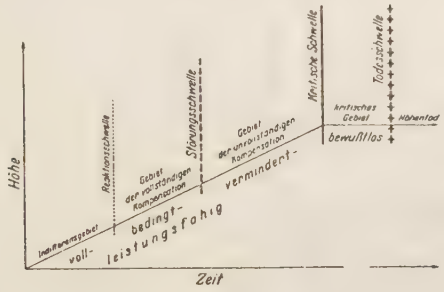
Zu vermerken ist, daß sich in diesen Höhen eine Reaktion des Kreislauf in Form einer Steigerung der Herzfrequenz, einem Anstieg des Schlag- und Minutenvolumens, einer geringfügigen systolischen Blutdruckerhöhung bemerkbar macht. Diese nervöse Regulierung erfolgt vor zentraler Registrierung durch die nerval induzierte Arbeitsweise des Abfalls der Sauerstoffspannung oder Anstieg der Kohlensäurespannung von Carotissinus und Aorta. Gekoppelt damit ist auch eine Geschwindigkeitssteigerung der zirkulierenden Blutmenge und eine Erhöhung der Sauerstoffkapazität des Blutes durch Blutausschwemmung aus den bekannten Blutspeicherorganen.

Die kardiologischen Veränderungen zeigen sich in einer Frequenzerhöhung, einer Vergrößerung und Formumwandlung der P-Zacke, einem Abflachen von R- und T-Zacke und einer Verkleinerung des QRS-Komplexes. Rechtzeitige Sauerstoffapplikation macht diese Erscheinung wieder rückgängig. Bei zu langem Sauerstoffmangel steigt die T-Zacke wieder, eine anfängliche PQ-Verkürzung erfährt eine längere Überleitungszeit und der Kammerkomplex verbreitert sich. Das Zentralnervensystem wird durch die Hypoxie in diesen Höhen sehr stark beeinträchtigt, was sich dabei auch in einer Sehnenreflexabnahme kundtut, da die cerebralen Ganglienzellen geschädigt wurden. Dieses Absinken läßt sich aber nur zwischen 3ooo-5ooo m Höhe feststellen, da ab 6ooo m wieder ein Reflexanstieg über 3o % vermerkt wird, der sich auf eine hypoxische Kompensation von seiten des menschlichen Körpers zurückführen läßt. Diese 6ooo m Höhe bildet insofern auch eine zentralnervöse Grenze, da aber hier nervale Störungen zu Lähmungen von Funktionseinheiten übergehen können.

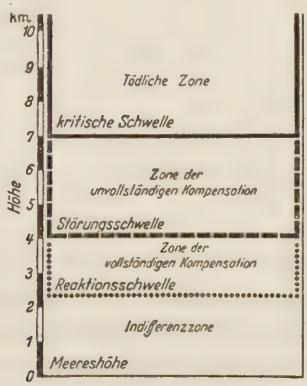
Besonders eindeutig zeigt der Schreibtest z.B. nach Lottig die cerebralen Beeinträchtigungen, wobei Zahlen ab 1ooo geschrieben werden. Die Abwandlung, Wiederholung von Zahlen und letztliche Auflösung des Schriftbildes läßt sich gut in Beziehung zu dem Sauerstoffmangel bzw. zu den sich ergebenden Veränderungen des Gehirns setzen. Sehr instruktiv scheint mir die Grenzfestlegung über die Höhenauswirkungen auf den menschlichen Organismus nach Strughold zu sein, die ab 4ooo m Höhe mit eindeutigen ZNS-Manifestationen, zwischen 6ooo - 8ooo m mit Puls- und Atmungsanstieg, Tremor und Muskelzucken, allmählicher Bewußtseinsabnahme bis zur Bewußtlosigkeit in Erscheinung tritt und letztlich bei langdau-

ernder Exposition über Höhenkrämpfe, Atemstillstand und Herz- und Kreislaufversagen zum Tode führt. Die gleichen Symptome zeigen sich auch beim Höhenlageversuch. (vgl. dazu S.1o9 a/b)
Das Auge reagiert natürlich gleichfalls sehr empfindlich auf Sauerstoffmangel. Vor allem sind dabei die Dunkeladaptation, die schon ab 2ooo m beeinträchtigt wird, in größeren Höhen als auch die Erscheinung des "Dunkelwerdens vor den Augen", dann eine starke Beeinflussung des räumlichen Sehens und schließlich der Abfall in der unterschiedlichen Empfindlichkeit beim Farbsehen betroffen.
Das Gehörorgan antwortet auf diese Höhenbedingungen mit einer rapiden Abnahme der oberen Hörschwelle. Was den Liquordruck in dieser Situation anbelangt, so zeigt sich unter hypoxischen Verhältnissen eine Veränderung im Sinne einer Drucksteigerung, die bei Sauerstoffgabe wieder auf normale Werte absinkt.
Bei Druckabfall muß der Pilot so schnell als möglich einen sofortigen Sturzflug um einige tausend Meter vornehmen, denn die Reservezeit bis zum Eintritt der Bewußtlosigkeit desselben durch das Sauerstoffdefizit ist von der jeweiligen Flughöhe abhängig (ersichtlich nach Schema von Ruff-Stughold, vgl. S.1o9c). Die Zeitreserve wird durch körperliche Betätigung des Piloten noch stärker herabgesetzt als unter Ruhebedingungen und wird durch den rapiden Sturz der Sauerstoffsättigung des Blutes noch beschleunigt. Daher beugt ein schneller Abstieg unter völliger Ruhebewahrung einer gravierenden Höhenkrankheit vor.
Diese Tatsache ist auch in der Situation von äußerst lebenswichtiger Bedeutung für Jetpiloten, in der sie sich bei Zwischenfällen in diesen großen Höhen mit dem Schleudersitz herauskatapultieren müssen. In diesem Zusammenhang hat schon Bancroft et al.[215]

Zeitliche Abfolge der Höhenkrankheit (nach Ruff-Strughold)



Darstellung der Höhenwirkungsschwellen mit ansteigenden Höhenmetern (nach Strughold)

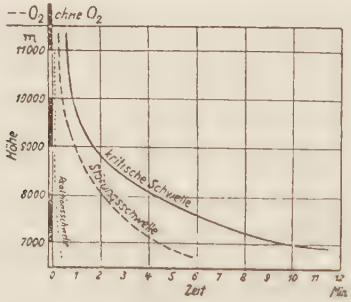


1. Zwischen 2.000-3.000 m Höhe = Reaktionsschwelle = 70 mmHg alveolärer O_2-Druck
2. Bei etwa 4.000 m Höhe = Störungsschwelle = 45-50 mmHg alveolärer O_2-Druck
3. Zwischen 6.000-8.000 m Höhe = kritische Schwelle = 30 mmHg alveolärer O_2-Druck
4. Längerer Aufenthalt über 6.000-8.000 m Höhe = letale Schwelle

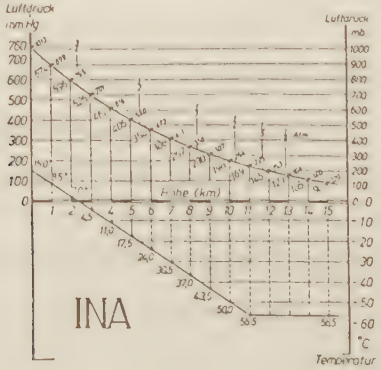
Abstufung der Höhenwirkung beim Höhenlageversuch, die der beim horizontalen Höhenversuch als auch beim Aufstiegsversuch gleicht. Unter horizontalem Höhenversuch versteht man die Reaktionen nach Absetzen der O_2-Atmung in gewissen Höhen.

Höhenlageversuch nach Strughold

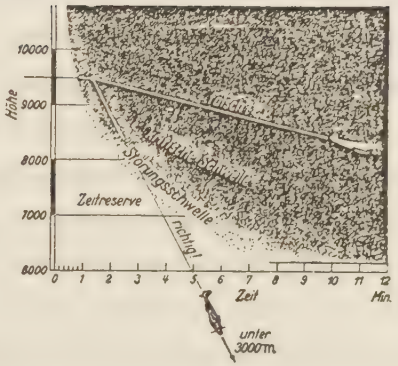
Zusammenrücken der Höhenwirkungsschwellen nach Störung der O_2-Atmung (nach Strughold)



Überblick über den Zusammenhang von Höhe, Luftdruck und Temperatur bei einem Luftdruck von 760 mmHg und einer Lufttemperatur von + 15°C in Meereshöhe (INA = internationale Normalatmosphäre)
(nach Ruff-Strughold)



Höhe	Zeit
7000 m	5 Minuten
7500 m	4 Minuten
8000 m	3 Minuten
9000 m	80 Sekunden
10 000 m	50 Sekunden
11 000 m	40 Sekunden
12 000 m	30 Sekunden
15 000 m	15 Sekunden
18 000 m	13 Sekunden
20 000 m	11 Sekunden
darüber	konstant



Bei Abfall des Kabinendrucks muß sich der Pilot aus Sicherheitsgründen so schnell wie möglich aus dem Gefahrenbereich begeben. Die Reservezeit bis zum Eintritt der Bewußtlosigkeit des Piloten infolge Sauerstoffmangels hängt von der jeweiligen Flughöhe ab (nach Ruff-Strughold)

auf die Möglichkeit hingewiesen, daß das Atmen mit der Sauerstoffmaske während rascher Dekompression bis 6o.ooo ft erträglich sein kann. Dies könne aber nur in einer gewissen Zeitgrenze und unter gewissen Voraussetzungen vorsichgehen. Bei seinen Probanden waren nur sehr flüchtige Abschwächungen corticaler Funktionen zu verzeichnen, die von der Hypoxie herrühren.
Neben den Problemen (vgl. dazu INA-Abb. S.1o9c) mit den dort herrschenden Temperaturen und dem niedrigen Luftdruck läßt sich der Sauerstoffmangel lösen entweder durch Sauerstoffgeräte oder durch eine schnelle Sinkgeschwindigkeit bei nicht entfaltetem Fallschirm auf niedrige Höhenwerte von etwa 7ooo m. Der Pilot wird unter diesen Verhältnissen durch einen Druckanzug gegen das Versacken des Blutes geschützt.
Durch die Abnahme des Luftdrucks in diesen Höhen dehnen sich die Gase aus, die sich in den Körperhöhlen befinden. Eine Aufblähung des Magens und des Darms kann zu Kollapszuständen und auch Roemheld-Symptomen führen. Die gleiche Expansion kann bei den pneumatisierten Schädelhöhlen gefunden werden, die mitunter Blutungen in denselben hervorrufen. Auch schlechte, lufthaltige Zähne können Beschwerden in diesen Höhen bereiten.
Ein Fall[2o7] zeigt Abnormalitäten des ZNS nach einem Unterdruckversuch, die in unkomplizierten, aber weitverstreuten Gliederschmerzen des Piloten während der Rekompression auf Meereshöhe ihren Ausdruck fanden.
Der Schmerz trat während der Abstiegsphase von 12ooo m Höhe im Gelenk des Fußknöchels dieses Mitarbeiters an den Unterdruckversuchen auf, der sich dann auf den Spann verlagerte und nicht nachließ. Ein Jahr zuvor hatte er einen Schmerzanfall im Kniegelenk.

Bei dem Abstieg hatte der Angestellte bei 2400 m Höhe vorzeitig die vorgeschriebene 30 minütige Sauerstoffatmung beendet, um eine Blockierung des Gehörs zu vermeiden.
Nach plötzlicher Schmerzfreiheit zeigte er noch für einige Tage eine unilaterale Hyperreflexie links sowohl der oberen als auch unteren Extremitäten, die sich dann auch legte. Erneute Begutachtung nach 5 Wochen bot nur noch eine Hyperreflexie im linken Arm. Die EEG-Veränderungen, interpretiert als "eine leicht gestörte Aufzeichnung auf der rechten Seite mit keiner spezifischen Diagnose" klärten sich ohne Residuen und wurden als ein eindeutiger Beweis cerebraler Beteiligung gewertet. Daneben wurde auch eine Verzerrung durch Gasblasen im Gehirn und Spinalkanal in Betracht gezogen.
Die Dekompressionskrankheit kann auch dann auftreten, wenn die Schutzausrüstung oder Schutzsysteme ausfallen oder unzulänglich sind, den Piloten abzuschirmen.
Wie aus einer Studie[208] hervorgeht, lag die Hauptursache bei den inadäquaten Druckverhältnissen im Flugzeug in Verbindung mit einer nicht ausreichenden Stickstoffentfernung. Die meisten litten an den Gliederschmerzen, während 6 Piloten ZNS-Beteiligung zeigten. Zwei dieser 6 Fälle erhielten eine Behandlung mit der Überdruckkammer.
Fall 1: In 24.000 ft Höhe beklagte sich der Pilot, der in einem nicht den Druckwerten entsprechenden Trainer flog, über verschwommene Seheindrücke und Parästhesien der Extremitäten. Beim sofortigen Abstieg zeigte er tonisch-klonische Bewegungen der linken Seite und eine Nichtzurechnungsfähigkeit für das Kommando. Im Hospital war der Flieger hin und wieder bei Bewußtsein, wobei seine Augen ziellose Bewegungen ausführten. Die Behandlung mit der

Überdruckkammer zeigte während des Kammeraufenthalts keine Besserung. Ein Erfolg stellte sich erst nach Rückkehr in das Hospital ein. Die Diagnose umfaßte einmal occipitalen Lobusinfarkt, desweiteren intracerebrale oder subarachnoidale Hämorrhagie, dann Hysterie und schließlich bilaterales Arteria cerebri posterior-Syndrom.

Fall 2: Bei dieser Krankheitsgeschichte fiel das Drucksystem in 19.ooo ft Höhe aus. Ein Besatzungsmitglied fühlte ein Kribbeln in seinen Händen und Lippen. Seine Füße waren schwer und ein Schwindelgefühl breitete sich aus. Beim Sturzflug wurde der Körper des Fliegers stark erschüttert und auf dem Flugplatz konnte er weder stehen noch gehen. In der Überdruckkammer wurde eine rechtseitige Hemiparese, ein geringes Aufnahmevermögen und ein weitverbreiteter sensorischer Mangel festgestellt. Erst die zweite Behandlung brachte eine Besserung und stellte die zentrale Sehkraft wieder her. Die einzige Erklärung seiner Symptome war die Exposition bezüglich reduziertem Barometerdruck.

Wie schon bei dem Auge beschrieben[18o,181], können durch rasche Dekompression Veränderungen am optischen Apparat auftreten. Denn unser Sehvermögen hängt von einer ausreichenden Sauerstoffversorgung der Retina ab, welche unter diesen Umständen nicht gewährleistet werden kann. Einige Untersuchungen[2o9,21o,211] wurden mit Affen durchgeführt, um die Auswirkungen eines Druckabfalls, besonders während eines Raumflugs, beobachten zu können.

Die Tiere, die die Dekompression von 42.5oo ft Höhe überlebten, zeigten sich bewegungslos und nahmen Haltungen ein, die decorticierten Versuchstieren glichen. Also bei Streckung der unteren Extremitäten erfolgte eine Beugung der oberen Gliedmaßen und die Rückenlage führte zu einer Beugestellung von Armen und Beinen,

wobei die letzteren eine halbgebeugte Stellung einzunehmen versuchten. Durch tonische Halsreflexe wurde eine Veränderung der Extremitätenhaltung versucht, d.h. bei Drehen nach links wurde der rechte Arm und das Bein leicht angezogen und der linke Fuß gestreckt. Bei Rotation des Halses nach rechts begann sich dann der rechte Fuß zu strecken.

Ein anderer Affe hatte Schwierigkeiten mit der aufrechten Haltung und bot bei Ortsveränderung eine besonders gebückte Haltung, die an den Gang eines Alligators erinnerte. Die auffälligen neurologischen Ausfälle weisen wahrscheinlich auf eine bilaterale Cortexzerstörung hin und die Bewegungsstörungen auf abgeschwächte Funktionen des Cerebellums.

Außerdem reichten die Auswirkungen des Drucksturzes von flüchtigen Bewußtseinsstörungen bei einer Gipfelhöhe von 3o.ooo ft bis zu dem Punkt mit einer Gipfelhöhe von 53.ooo ft, an dem Überleben nicht möglich war. Die neuropathologische Überprüfung[21o] ergab eine ausgedehnte neocorticale Zerstörung, die sich besonders an den Grenzzonen von cerebralen Hauptarterien abspielte.

Im Einzelnen zeigte die mikroskopische Untersuchung bei einem Tier eine symmetrische und eine nach vorne abnehmende cortikale Schädigung. Daneben waren in allen Schichten, hauptsächlich in der dritten, alle Neuronen verlustig gegangen, begleitet von gliomesodermaler Reaktion, zahlreichen Lipidphagozyten und mäßiger, randständiger Gliosis. Im Hippocampusgebiet herrschte eine Totalnekrose des Sommer-Sektors und eine Gliosis in der Endschicht. Die Thalami zeigten ein ähnliches Bild in den vorderen Nuklei; aber die subthalamischen Bezirke waren normal, ebenso die der Corpora amygdala und des Hypothalamus.

Der Nucleus caudatus und das Putamen wiesen einen Pyramidenzellverlust auf. Das Cerebellum bot mit Ausnahme der Nuklei dentati einen geringen Mangel an Purkinjezellen.
Das zweite Tier wartete mit ähnlichen Zellveränderungen auf. Daneben waren eine Nekrose in Plättchenform am Grund des oberen Temporalsulcus, des paramedianen Cortex in den hinteren Hälften der Frontallobi, in der gesamten Ausdehnung der Parietalobi und im vorderen Teil des Occipitallappens zu verzeichnen. Mikroskopisch wurde eine intensive gliomesodermale Reaktion in allen Schichten offenbar. Was die plättchenartige Nekrose im Temporallappen anbetraf, so reichte sie über die Insula bis in die Operculumgegend. Im Cerebellum war neben dem Zellverlust eine mäßige Proliferation der Bergmann-Glia bemerkenswert, was die neurologischen Ausfallserscheinungen[209] nur bestätigte. Außerdem waren möglicherweise die Hernienbildungen des Hippocampus, die nach der Dekompression auftraten, für die beständigen Bewußtseinsstörungen teilweise verantwortlich gewesen. Die beobachtete Schädigung des Hirngewebes wird sowohl einem verminderten cerebralen Blutfluß als auch einer herabgesetzten arteriellen Sauerstoffsättigung zugeschrieben.
In einer weiteren Studie[211] wurde mittelsElektrocorticographie (ECoG) die steigende Ernsthaftigkeit von Dekompressionsauswirkungen und deren neuropathologischen Ergebnisse hinsichtlich ständiger Hirnschädigung untersucht. Es stellte sich heraus, daß aufgrund einer dreieckigen Querschnittskurve mit Gipfelhöhe nicht über 36.000 ft und einer Zeitdauer nicht länger als 8 Minuten über 10.000 ft die spontane, elektrische Hirnaktivität aufrechterhalten wird und keine späteren Zeichen einer Hirnschädigung ge-

liefert werden. Daher spielt auch die Zeit einen Hauptfaktor in der negativen Beeinflussung des Gehirngewebes durch den raschen Druckabfall.

Brierley et al. stellten fest, daß solch eine Querschnittkurve mit den oben erwähnten Parametern keine Möglichkeit für verhängnisvolle Folgen bietet und, vorausgesetzt daß die Lungenbelüftung aufrechterhalten wird, wird sie bei gesunden Passagieren, die atmen, keine permanente Hirnzerstörung hervorrufen. Ihrer Meinung nach sollte sich bei einem Drucksturz der Kabinendruck innerhalb des angeführten Kurvenwerts bewegen.

In diesem Zusammenhang ist die schon früher gemachte Feststellung interessant, daß die Heftigkeit der Höhenkrämpfe sehr von der Aufstiegszeit abhängt, je kürzer das Intervall, desto heftiger das neurologische Korrelat. Diese Abhängigkeit bestätigte Prof. Strughold[6] mit dem Befund, daß die Krampfschwelle umso höher rückt, d.h. daß die Krämpfe in umso größeren Höhen auftreten, je langsamer der Aufstieg erfolgt. Die Reaktion erfolgt durch Tremor und Zuckungen der Hände, die besonders deutlich beim Schreibtest z.B. nach Lottig, hervortritt, und es zeigen sich ein nervöses Muskelzucken im Gesicht und ein sehr fester Lippenverschluß.

Einige andere Tieruntersuchungen geben Einblick in die möglichen neurologischen Störungen, die bei möglicher Konfrontation mit der Dekompression auf den Menschen während des Raumflugs oder eines normalen Flugs einwirken können.

Casey et al.[212] beschrieb Veränderungen im Gehirn und im Spinalstrang von Hunden, die innerhalb einer Sekunde von 25o mm Hg (d.h. 27.5oo ft Höhe) auf etwa 1 mm Hg (15o.ooo ft Höhe) dekom-

primiert wurden und diesen Druckwert für 12o Sekunden ertragen mußten. Dabei entwickelte ein Tier eine schwere Paralyse, die sich innerhalb 24 Stunden ausgebildet hatte. Diese Lähmungserscheinung wurde während der 67-tägigen Beobachtung von einer allmählichen Besserung abgelöst.

Die bedeutsamsten pathologischen Veränderungen zeigten sich in der weißen Substanz des Gehirns und des Spinalstrangs. Die weiße Hirnmaterie enthielt verstreute mikroskopische Foci von degenerierten Achsenzylindern und Myelinscheiden. Größere focale Nekrosen waren in der subcortikalen weißen Schicht und im Hirnstamm sichtbar. Geringfügige Schädigungen wurden in den Purkinjezellen des Cerebellums und in einem paraventrikulären Nucleus der Medulla beobachtet. Die Zerstörung von Myelinanteilen im Spinalstrang war weitaus ernster als im Hirngewebe und beschränkte sich auf den Austritt des ersten und zweiten Cervicalnerven und des vierten und zehnten Thorakalnerven.

Das Auftreten von Schädigungen und deren Vorliebe für die weiße Materie, der geringe Vaskularisationsgrad und die geringere Empfindlichkeit für Sauerstoffmangel von seiten der weißen Substanz und der hohe Lipidgehalt derselben legen den Schluß nahe, daß Bläschenbildung gelösten Gases, das aus den Myelinscheiden entwich, die Hauptursache für diese diffuse Verletzungen im Gehirn und Spinalstrang darstellte. In diesem Zusammenhang möchte ich darauf hinweisen, daß der Löslichkeitskoeffizient für Stickstoff in Lipiden 5 mal höher ist als für Wasser. Desweiteren läßt eine Stickstoffentfernung vor einer Dekompression auf solche niedrigen Druckwerte die Überlebenszeit signifikant ansteigen.

Die Erholung des einen Versuchstiers zeigt wahrscheinlich an,

daß sich alternative Nervenbahnen ausgebildet haben. Die elektronenmikroskopische Untersuchung der Purkinjezellen deckte das Vorhandensein von lamellären Körperchen bei einigen Hunden auf, die 45 bis 95 Minuten nach der Hypoxie überprüft wurden. Bei dem gelähmten Versuchstier stellten Bowman et al.[213] eine große Fülle dieser Strukturen fest, die Stapel membrangebundener Cisternen bildeten und durch dichtes Material voneinander getrennt waren. Die Cisternen waren oft fortlaufend mit dem granulierten endoplasmatischen Retikulum verbunden. Trotz dieser ultrastrukturellen reversiblen Veränderung ist die funktionelle Bedeutung dieser lamellären Körperchen unbekannt.

Aufgrund einer Studie kommen Liske et al.[214] zu der Folgerung, daß es keine regional besondere topologische Vulnerabilität im Gehirn mit den beschriebenen neurologischen Störungen gibt. Aber aufgrund fehlender corticaler Reizerscheinungen und anderer Überlegungen schließen sie, daß wahrscheinlich die weiße Hirnsubstanz mit ihrem größeren Lipidgehalt der übliche Sitz für Verletzungen durch Stickstoffbläschen ist. Daraus erklären sich ebenfalls sowohl die initialen als auch die späten neurologischen Herdzeichen.

Die Lipide[216] haben, wie oben schon erwähnt, neben dem Erscheinen von Stickstoffbläschen in ihnen noch eine weitere gewichtige Rolle bei dem Auftreten der Druckfallkrankheit inne.

So setzt zum Beispiel bei Adipösen die Leber unter diesen Umständen unbeständige ß-Lipoproteine in Form von Cholesterol frei, die, zu Emboli geformt, die pulmonalen Gefäße verschließen und rheologische Veränderungen wie etwa die Sludgebildung der roten Blutkörperchen hervorrufen können. Aber nicht nur bei gewichtigen Fliegern, sondern auch bei Krankheit, Unfällen, Vergiftungen und

Infektionen können diese klinischen Bilder zum Tragen kommen. Desweiteren ereignen sich eine schlechtere Gewebeperfusion, eine Gefäßschädigung und ein Plasmaaustritt in extravaskuläre Gebiete, wodurch letzten Endes ein Schockzustand ermöglicht wird. Es muß erwähnt werden, daß der Schock bei Dekompressionskrankheit gewöhnlich durch eine Hämokonzentration gekennzeichnet ist und sich dadurch von der Fettembolie unterscheidet, die von einem Hämoglobinabfall begleitet ist. Ohne Rekompression bleiben die Hunde, die zuvor einen Drucksturz durchgemacht haben, während dieser Studie am Leben nur durch Gaben von niedermolekularem Dextran (Rheomakrodex: MG 4o.ooo, Applikation 5oo-1ooo cm^3/24 h) und von Heparin (5o mg sc. oder iv. alle 6 Stunden), wobei letzteres die Aktivität von Lipoproteinlipase steigert. Außerdem können noch Steroide hochdosiert (1-5 mg/die), Bicarbonatpuffer und natürlich Sauerstoff verabreicht werden.

Die Manifestation der Druckfallkrankheit ist sehr vielfältig. Jeder Fliegerarzt sollte daher mit den Symptomen einer Dekompression und ihren Folgen für die Betroffenen vertraut sein, um gezielt helfen oder von vorneherein dieser Gefahr wirksam begegnen zu können. Außerdem sollte meiner Meinung nach eine ständige Unterweisung für diejenigen, die fliegen, stattfinden, um sich in solchen Situationen korrekt zu verhalten. Denn dabei wird über Tod oder Leben entschieden.

Anschließend möchte ich nur kurz die Auswirkung von hyperbarischem Sauerstoff auf Versuchstiere streifen. Letztere zeigen nämlich bei seiner ständigen Anwendung eine Abnahme der klinischen Konvulsionsschwelle. Aber wie steht es dabei mit dem toxischen Einfluß von Sauerstoff auf das Gehirn?

Diese Frage untersuchten Harel et al.[217] anhand der elektrischen Aktivität des Cerebrums, nachdem die Nervenstränge zu und vom Hypothalamus durchtrennt waren. Denn eine Durchschneidung des mediobasalen Hypothalamus hat Nachwirkung sowohl auf die Adenohypophyse als auch auf die Zielorgane. Die ACTH-Sekretion der vorderen Pituizyten wird von dieser hypothalamischen Region trotz fehlender Nervenimpulse aufrechterhalten. Das klingt paradox, da die Afferenzen fehlen. Der Hypothalamus spielt eine wesentliche Rolle bei der Kontrolle der Thyreotropinsekretion der Pituizyten, genauso wie der mediobasale Hypothalamus für die Sekretion gonadotroper Hormone wichtig ist. Die Untersuchungs- und Kontrolltiere wurden bei einem hyperbarischen Sauerstoffwert von 6 ata untersucht, mit gleichzeitiger EEG-Aufzeichnung. Das Ladungsmuster der Hintergrundaktivität wurde durch diesen Versuch nicht geändert. Die erste paroxymale, elektrische Entladung wurde als erstes Anzeichen cerebraler Sauerstofftoxizität betrachtet, wobei das Entladungsmuster und der zeitliche Beginn der ersten elektrischen Anfälle keine Veränderung durch die Trennung der Nervenbahnen zeigten. Die fehlende Antwort auf hyperbarischen Sauerstoff bei Tieren mit hypothalamischen Inseln stützten die frühere Beobachtung, daß Adrenal- und Hypophysektomie die Empfindlichkeit des Rattenhirns gegenüber Sauerstoffvergiftung nicht umändert, wenn die erste elektrische Entladung als Kriterium einer Sauerstofftoxizität benützt wird.

In einer weiteren Studie[218] zu diesem Thema stellen sie fest, wenn die gleichen Bedingungen als Kriterien dienen, wie schon erwähnt, daß die Gebundenheit ihres Erscheinens unverändert bleibt. Daher kann auch angenommen werden, daß die Tiere keinen Dauerschaden

des Gehirns erlitten haben. Ihre Ergebnisse stützten nicht die früheren Berichte, die besagen, daß wiederholte Exposition die Empfindlichkeit für eine Sauerstoffvergiftung erhöhen. Untersuchungen[219,22o,221,222] mit Taschenmäusen unter erhöhten Druckwerten von Sauerstoff ergaben, daß sie jene leicht ertragen, ihre Augen und ihr Gehirn keine diesbezüglichen Schädigungen aufweisen und ihre Lungen ziemlich widerstandsfähig gegenüber toxischer Sauerstoffwirkungen sein würden. Geringe Schäden können nur durch 9o % Sauerstoff und 76o mm Hg Luftdruck verzeichnet werden. Im Gegensatz dazu treten bei 9o % Sauerstoffgebrauch in großen Höhen und normalem Sauerstoffpartialdruck keine Beeinträchtigungen und Schäden auf, da neben der Konzentration auch der Sauerstoffpartialdruck bei Toxizität eine Rolle spielt. Diese Grenze liegt bei hochdosierter O2-Atmung bei 425 mm Hg Druck, was etwa 4ooo m entspricht. Unter diesem Wert ist mit Schädigungen zu rechnen. Bei Einfluß von 1oo %igem Sauerstoff reagiert die Netzhaut äußerst empfindlich und bietet bei 6o %iger Sauerstoffbeatmung im Verlauf mehrerer Tage eine Beeinträchtigung in Form einer Rückbildung der Sehzellen. Die ursächliche Aufklärung der Sauerstofftoxizität ist noch nicht völlig geglückt.

II. 3. Betrachtung von Schlaf- und Wachrhythmen in der Luft- und Raumfahrt

Schließlich greife ich noch einen weiteren Einflußfaktor auf Piloten und Raumfahrer heraus, nämlich den Wechsel von Schlaf- und Wachrhythmen, die Auswirkungen auf diese Personengruppe und deren neurologische Korrelate.

Am Anfang der Raumfahrten wurden auch schon Versuche unternommen, um einen Einblick in den Ablauf der Tagesaktivitäten unter Raumfahrbedingungen zu erhalten. Denn von besonderem Interesse ist die Anpassung an den Tagesrhythmus und an den Wechsel von Wach- und Schlafzustand.

Bekanntlich sinkt in der Nacht die Körpertemperatur nebst Herz- und Atemfrequenz. Auf einem Raumflug erfolgt dieser Vorgang häufiger und mit der Ausweitung interplanetarer Flüge entfällt die tageszeitliche Periode. Weil unter diesen Umständen wissenschaftliche Arbeiten ausgeführt werden sollen, muß eine zeitlich gerechte Einteilung für den Astronauten hinsichtlich der Arbeits- und Ruhephase getroffen werden, die seiner circadianen Rhythmik entspricht und eine hohe Effektivität für das Unternehmen verspricht. Diese circadiane Rhythmizität gehört zu den unbedingt-reflektorischen Vorgängen, die äußeren Einflüssen gegenüber sehr widerstandsfähig ist und in den subcorticalen Strukturen und in dem Stammhirn lokalisiert sind. Die Wissenschaftler interessiert es vorallem, ob die "innere Uhr" des Menschen durch die Raumsituation durcheinandergerät.

Wie aus der Flugmedizin ersichtlich, haben die schnellen Düsenflugzeuge mit ihrer Zeitverkürzung erheblichen Einfluß auf den gewohnten Tagesablauf genommen, wie es etwa die Ernährung, die Lebensweise und den allgemeinen physiologischen Zustand des Menschen dabei widerspiegelt. Ich möchte ebenfalls auf die Schwierigkeit von Kranken im internationalen Flugverkehr hinweisen, die zu gewohnten Tageszeiten ihre Medikamente einnehmen müssen, wie es ihnen von ihrem Arzt zu Hause vorgeschrieben wurde. Besonders wichtig ist in diesem Rahmen das Circadiansyndrom geworden, welches sich als Herz- und Kreislauferkrankung mit Angina pectoris-

oder Kollapsanfällen bis zu einem Myocardinfarkt darbietet. Die Ursache liegt in den Folgeerscheinungen des abgeänderten 24-Stunden-Wechsels mit ihren Fehlleistungen nebst außerplanmäßigen psychischen und physischen Stressituationen, welche fast immer bei Überschreiten der Zeitgrenze auftreten. Bei der Rückkehr auf der gleichen Strecke wird eine geringere Häufigkeit dieses Syndroms verzeichnet. Was die Nebennierenrinde anbelangt, so benötigt sie für die Einstellung an diesen neuen Rhythmus 8 Tage. Neben einer erhöhten Neigung zu Thrombenablösung zeigt sich auch das Krankheitsbild der Herz-Asthmaanfälle aufgrund einer Linksinsuffizienz während der Mitternachtsstunden.

Nach einer französischen Studie[223] gaben von etwa 3oo fliegenden Besatzungen zwischen den Strecken Frankreich - USA bzw. Kanada 78 % Beeinträchtigungen bezüglich des Tag-Nacht-Wechsels an, mit einem höheren Prozentsatz in dem Bereich Schlafstörung als in dem von gastrointestinalen Auswirkungen. Letztere traten bei den weiblichen Mitgliedern zahlreicher auf und diese Störungen waren nach 24 Stunden in dem gewohnten Milieu wieder behoben. Auf die Schlafstörung hin befragt, benötigten 2o % aller Untersuchten und 44 % der Stewardessen Schlafmittel und hinsichtlich der Schlafqualität hatten 34 % noch 2 Tage nach Ankunft in Amerika Schwierigkeiten mit der Zeitverschiebung und nur noch 25 % bekannten sich dazu nach Rückkehr in ihre vertraute Umgebung. Während der Flüge litten 15 % der Besatzung an dyspeptischen Beschwerden, 29 % an Obstipation und 9 % an Diarrhoe.

Wie auch aus anderen Sparten ersichtlich (z.B. Höhlenversuchen etc) wird der Tagesablauf einige Zeit lang aufrechterhalten, doch eine zeitliche Orientierung schlägt fehl.

Daneben muß bei Raumfahrten in die Berechnung die Ermüdung des Astronauten miteingehen, da er im Gegensatz zu den Automaten und Robotern nicht andauernd unter den angespannten Verhältnissen arbeiten kann und die Ermüdung schon nach 5-6 Stunden eintritt, d.h. die Arbeitszeit auf 4 Stunden festzulegen ist. Dies bedeutet aber eine Abänderung des von der Erde her gewohnten Tagesablaufs. Untersuchungen[150] haben dagegen gezeigt, daß unter veränderten Arbeitszeitbedingungen fast gleiche Tagesablaufmuster wie unter Normzuständen zu beobachten waren. Ergebnisse mit Piloten, die auf ihren Flügen Zeitunterschiede von 6 bis 12 Stunden erlebten, erbrachten, daß sie sich ihnen innerhalb 14 Tagen angepaßt hatten. Bei Erhalt der gewohnten Umgebung erfolgt aber diese Umstellung noch nach Jahren nicht.

Was wir unter Angleichung verstehen, ist an und für sich nur eine zeitlich begrenzte Verbindungsausbildung mit dem Cortex, die auch die circadiane Periodizität miteinbeziehen kann. Besonders informativ sind die Anpassungsuntersuchungen von Stscherbakowa[151] mit Affen bei unterschiedlichen Tagesrhythmen, wobei diese Tiere bei einem zweiphasischen Tagesablauf schon nach 3 Tagen Adaptation in der Motorik und nach 6-13 Tagen eine Zweiphasigkeit in den physiologischen Funktionen zeigten. Ähnliche Probandenversuche, sogar mit einem triphasischen Tagesmuster, ließen den Schluß zu, daß je unähnlicher das Versuchsprogramm dem natürlichen Tagesrhythmus war, desto schwieriger gestaltete sich seine Durchführung. Bei der Auswertung erreichten die Untersuchten am 2.-5. Tag die "alte" Arbeitsfähigkeit, am 8.-15. Tag die entsprechende physiologische Funktionsumstellung, wobei anzumerken ist, daß dieser Umschwung noch nicht vollständig abgeschloßen ist. Am wirkungs-

vollsten erwies sich die biphasische Tageseinteilung.
Für die Festlegung von raumfahrerischer Tagesaufteilung ist die Besatzungszahl, die Größe des Raumfahrzeugs und das Arbeitspensum von Wichtigkeit. Als einigermaßen vernünftig wird der All-rhythmus von 4 Stunden Flugdienst, 4 Stunden aktive Erholung und 4 Stunden Schlaf angesehen.
Durch die angestrengte Tätigkeit muß für eine völlige Regeneration mittels Schlaf für den Astronauten gesorgt werden, da sich Schlafstörungen, sei es durch die zeitliche Einteilung etc. bedingt, sehr nachteilig auswirken können, wie die Erkenntnisse von Gemini 5 zeigten. Untersuchungen ergaben, daß 4 Stunden Schlaf unter diesen interplanetaren Bedingungen für eine spätere Arbeitsfähigkeit völlig ausreichend sind.
Als biomedizinische Merkmale in seiner Studie benützte Hartmann et al.[163] die subjektive Ermüdung und die orale Temperatur, wobei zwei C-5 Besatzungen abwechselnd das Flugzeug bedienten. Die Ergebnisse, die bei einem 4 Stunden Intervall während und nach vier 66 Stunden dauernden Flugeinsätzen gesammelt wurden, legten klar dar, daß

a) diese unähnlichen Funktionen rhythmisch waren und
b) Flugfaktoren einen modifizierenden Einfluß auf beide Rhythmen ausübten.

Besonders signifikant war das Ergebnis, daß die subjektive Ermüdung im Mittel sowohl eine initiale Verzögerung, als auch eine Verstärkungsphase und eine Umkehrphase zeigte. Die letzte Phase stellt wahrscheinlich einen Zustand dar, in dem das endokrin-metabolische und sympathische Nervensystem überaktiv ist. Orale Temperatur und subjektive Ermüdungsantworten auf verlängerten Flug verliefen anscheinend parallel. Wie schon eine frühere Stu-

die von Hale[164] zeigte, so soll die letztere Erscheinung Beziehungen zu der retikulären Formation des Hirnstamms haben, welche sich auf den Hypothalamus erstrecken und daher Einfluß auf die Aktivitäten des endokrinen und sympathischen Nervensystems haben. Bekannterweise greift die Temperaturregulation des Körpers in die hypothalamischen, endokrinen und autonomen Aktivitäten des Nervensystems ein. Schlaf- und Wachzustand haben ebenfalls Affinitäten zu den Aktivitäten der retikulären Formatio. Gegenseitige Beziehungen zwischen solch unähnlichen Funktionen wie orale Temperatur und subjektive Ermüdung sollten daher erwartet werden. Das Verhältnis einer Erhöhung der subjektiven Ermüdung und der oralen Temperatur zielte darauf ab, ähnlich zu sein und es wurden 3 Tage benötigt, um die restlichen Auswirkungen des Flugs zu beseitigen.

Schon Klein et al.[165], die Fliegerbesatzungen vor, während und nach ostwärts und westwärts durchgeführten Transatlantikflügen beobachteten, berichteten über Phasenverschiebungen mit abgeschwächter Amplitude für die untereinander gegenseitigen Funktionen der Körpertemperatur, des Sauerstoffverbrauchs, der psychomotorischen Leistung, der cardiovaskulären Aktivität und der adrenocortikalen Ausschüttung.

In diesem Rahmen möchte ich darauf verweisen, daß bei Auftreten von Ermüdung ein paar Kortikosteroide, eng gekoppelt ansonsten mit der Adrenalinausschüttung, zu 17 Ketosteroiden umgesetzt werden und somit als Ermüdungsfaktoren gelten und aufgrund der herabgesetzten Adrenalinbereitstellung zu Ermüdung und Kollapszuständen führen.

Klein bemerkte, daß ostwärts durchgeführte Flüge mehr Resteinflüsse besaßen als die in westlicher Richtung. Auch Innes[166],

der die gleiche Untersuchungsmethode für die subjektive Ermüdungsquote benützte, konnte diese Ergebnisse nur bestätigen.
Bei Klein wurden die Rektaltemperatur, das Leistungsprofil und die Urinproben studiert. Dabei erfolgten die Messungen neunmal pro Tag rund um die Uhr in einem 3 Stunden-Takt während 3 Tagen vor dem Abflug und am 1., 3., 5.,8. und 13. Tag nach Flügen in beiden Himmelsrichtungen mit einer Zeitverschiebung von 6 Stunden. Die Temperaturmessung und das Urinsammeln wurden am 2.,4. und 6. Tag nach dem Flug durchgeführt. Die Aufenthaltsdauer in Deutschland war 18 Tage. Unter Benutzung der mannigfaltigen Regressionstechnik wurden Art und Dauer der Resynchronisation nach Phase, Amplitude und 24-Stunden-Mittelwert begutachtet.
Die Ergebnisse besagten, daß für die vollständige Wiederangleichung an die Phase des Temperaturrhythmus 14-15 Tage in östlicher Flugrichtung und 11-12 Tage in westlicher Richtung benötigt wurden. Für die mehr komplexeren Leistungsaufgaben waren die entsprechenden Auswertungen 12 und 1o Tage. Für die einfacheren Aufgaben betrugen sie einschließlich visueller Reaktionszeit 9 und 6 Tage. Geringeres Absinken des 24-Stunden-Mittelwerts des ersten Tages nach der Reise (für die Temperatur ungefähr o,1°C, für die Leistung zwischen 2,1-3,2 % (östlich) und 1,1-2,4 % (westlich)) erwies sich als statistisch nicht bedeutend. Phasenverschiebung, Amplitudenreduktion und Abnahme des 24-Stunden-Mittelwerts liefen insgesamt auf ein Absinken der Temperatur in signifikanter Weise hinaus an den beiden ersten Tagen nach dem Flug. Dieser Abfall trat meist um 12^{00} und 15^{00} (Ortszeit) nach einem Flug in östlicher Richtung und um 21^{00} und 24^{00} nach einem Flug in entgegengesetzter Richtung auf. In signifikanter Weise war 5 Tage lang die

abgelesene Temperatur zwischen 24^{00} und 6^{00} morgens (östliche Uhrzeit) und 3 Tage lang zwischen 6^{00} und 9^{00} (westliche Uhrzeit) erhöht. Die Leistungsprofile deckten einen Abfall und eine Erhöhung von 6-1o % zur gleichen Uhrzeit des Tages auf. Die Herz- und Atemfrequenz benötigte 4 Tage (westlicher Flug) und 6-8 Tage (östlicher Flug), um sich den jeweiligen Ortszeiten anzupassen. Bei langdauernden Flügen in nord-südlicher Richtung oder entgegengesetzt, besteht dagegen nicht die Gefahr eines Sprungs über 2 Zeitzonen für Flugpersonal und Passagiere, d.h. die "innere biologische Uhr" läuft in gewohntem Rhythmus weiter. Sie erfahren höchstens dabei starke Klimaschwankungen.

Der vorausgesagte, länger anhaltende Effekt auf der östlichen Flugroute stimmte mit den früheren Untersuchungsergebnissen überein. (167,168)

Neben den nervösen Beschwerden wie Kopfschmerzen, Lid- und Fingertremor, Reizbarkeit, Absinken der Konzentration, extrakardialen Brustschmerzen etc., dann den Störungen im Herz-Kreislauf- und Verdauungssystem werden im besonderen die einzelnen Schlafstadien durch Sprünge über Zeitzonen stark beeinflußt. Vorallem der REM-Schlaf oder Traumschlaf kann als Zeichen exogener Störungen hinsichtlich des Schlafgeschehens gelten, wobei er durch circadiane Wechsel sehr stark beeinträchtigt wird.

Der Rhythmus nach transmeridianen Flügen[226] äußert sich in verzögertem Einschlafen, mehrfachen Phasen des Wachseins, gehäuftem Wechsel von Schlafstadien, einer verbreiterten REM-Latenz und einer Herabsetzung von Tief- und Traumschlaf.

Besonders interessant scheint mir in diesem Zusammenhang Strumwasser's Theorie[227] über einen periodischen endozellulären Schlaf-

mechanismus zu sein. Die Wirkung dieser Nervenzellen, die sich in dem limbischen System, in der Formatio reticularis und thalamocorticalen System etc. verteilt finden, richtet sich nach der Ausschüttung von Polypeptiden, die ausgeschleust aus dem nucleären Stoffwechsel auf der Innenseite der Zellmembran angreifen und die Durchlässigkeit derselben fördern oder nicht. Der Clou bei dieser Vorstellung ist, daß die gleichen Neuronen sowohl für die Periode des Schlafs als auch des Wachseins verantwortlich sind, wodurch die einzelnen zentralnervösen Lokalisationszentren hinfällig werden. Bei Erreichen eines bestimmten Levels in diesem Funktionskreis geht der Ablauf vom Schlaf- zum Wachzustand oder umgekehrt vor sich.

Aufgrund der Gemeinsamkeit elektrophysiologischer und biochemischer Vorgänge, die in diesen Untersuchungen gezeigt wurde, wird die Störanfälligkeit dieser Arbeitsweise hinsichtlich exogener Einflüsse klar.

Wie schon oben erwähnt, hat der Medikamentengebrauch[231] bei fliegerischem Personal ebenfalls Auswirkungen auf den Schlafrhythmus, vorallem auf den REM-Schlaf. Ich meine hiermit besonders die Barbiturate, die eine Verlängerung der REM-Latenz und eineVerkürzung der REM-Zeitdauer hervorrufen. Benzodiazepine zeigen dagegen keine Effekte in Hinsicht auf den Schlafablauf. Auch der Konsum von Alkohol allein oder vergesellschaftet mit Schlafmitteln kann zu einer erheblichen Beeinträchtigung der Schlafstadien führen.

Aufgrund früherer Erfahrungen zeigt Nicholson[228,229], daß sich ein annehmbarer Schlafrhythmus für Piloten herausarbeiten läßt, wenn sich die Arbeitsbelastung in klaren Grenzen hält. Auch Raumfahrer müßten auf zukünftigen Langzeitunternehmen in dieser Hinsicht umdenken, da sich die Arbeitsabfolge den erforderlichen Ope-

rationen im All unterordnen muß und unter solchen Umständen wären die Arbeits- und Ruheformen, die unter Erdbedingungen entwickelt wurden, von geringem Nutzen.

Gleichfalls brachten die 3 bemannten Skylabunternehmen[198] brauchbare Ergebnisse in Bezug auf die Fähigkeit von Astronauten, unter Raumbedingungen ein adäquates Schlafmuster an den Tag zu legen. So stieg das Schlafstadium 3 während des Flugs an und nahm nach dem Flug ab. Stadium 4 verzeichnete ein stetes Absinken nach dem Unternehmen, während es auf dem Flug variabel war. Die REM-Phase zeigte eine Erhöhung und die REM-Latenz nahm erst am 3. Tag der Erholungspause ab. Was das Erwachen während des Schlafs anbelangt, so war entweder keine Veränderung oder ein Absinken während des Flugs zu bemerken.

Nur Skylab mit 28 Tagen Dauer bot eine signifikante Abnahme hinsichtlich der ganzen Schlafdauer, was aber auf freiwillige Reduzierung der Ruhepause zurückzuführen war. Bei Skylab 4 hatte einer der Probanden Schwierigkeiten für die Zeit der ersten Flughälfte, da er eine Verminderung der gesamten Schlafdauer und eine Zunahme der Schlaflatenz zeigte, die aber mit der Zeit verschwand. Die Schlaflatenz bereitete keine Schwierigkeiten auf den anderen Flügen. Die Ergebnisse erbringen, daß wie gesagt Astronauten während regelmäßig festgelegter 8-Stunden Ruhepausen ein adäquates Schlafverhalten bekunden. Außerdem wurde offenkundig, daß frühere Probleme in der Raumfahrt nicht durch die Og-Umgebung an sich, sondern eher aufgrund stärkerer Einschränkung in der Lebensweise und des Arbeitsfeldes in den vorangegangenen Raummodellen bedingt waren. Eine Schlafstudie[230] des Menschen während simulierter Raumflüge erbrachte, daß unter anderem Auswirkungen, wie z.B. verminderte motorische Aktivität, Geräusch und Drehung, die Monotonie

und die Expositionszeit die pathogenetischen Hauptursachen für Schlafstörungen sind. Der Faktor Monotonie war für typische Veränderungen der Schlaffunktion, wie z.B. Schwierigkeit beim Einschlafen, gestörte Schlafkontinuität, Abnahme der Schlaftiefe usw. verantwortlich, dessen Grad nicht nur mit der berufsmäßigen Wichtigkeit dieses Experiments, sondern auch mit der individuellen Intoleranz gegenüber der Hauptexposition in Verbindung gebracht wurde. Die Wirkung des Schlafmechanismus entwickelte sich auf dem Hintergrund des vestibulären, akustischen und proprioceptiven Analysators, der unter ständigen nervalen Inputs stand. Dessen Exzitation durch Hypokinesie, Geräusch und Rotation führte zu einer Kumulation, die sich in spontanem Aufwachen ausdrückte. Der Autor vertritt auch die Meinung, daß der Schlafrhythmus der wichtigste Faktor in der Adaptation von Astronauten gegenüber ungewöhnlichen Arbeit-Ruhe Mustern ist.

Biosatellit III^{200} stellte eine einzigartige Gelegenheit dar, um den Schlaf- und Wachzustand an einem Säugetier in schwereloser Umgebung zu untersuchen. Das Schlafmuster war regelwidrig in seiner Höhe und bizarr in der Verteilung. Der Charakter zeichnete sich durch ungewöhnlich schnelle Zustandsübergänge und bemerkenswerte Kürze dieser Zustände aus: Es wurde daneben eine Reduktion von REM und Phase 4 bemerkt, die dramatisch und augenfällig verlief. Der REM-Schlaf enthielt ziemlich atypische, spindelförmige Entladungen. Das Aufhören der Augenbewegungen fiel mit dem herabgesetzten EMG-Tonus (EMG = Elektromyogramm) und einer Veränderung des EEG-Charakters zusammen.

All diese Störungen nebst dem Abfall der Hirn- und Körpertemperatur wurden dem schwerelosen Zustand zugeschrieben. Der normale terrestische Zyklus wurde nie erreicht. Die Schlafzustände waren

in besonderem Maße bruchstückartig und waren von ungewöhnlich kurzer Dauer.

Das EEG von Frank Bormann[232] von Gemini VII war gekennzeichnet, Schlafzyklen während des Fluges zu studieren und die Auswirkung von Schwerelosigkeit auf die Gehirnströme zu erhalten.

Das Schlafstadium 1 zeigte eine Abnahme des Alpharhythmus, der allmählich von einer Thetaaktivität mit Niederspannung abgelöst wurde, was als Schläfrigkeit gewertet wird. Stadium 2 hatte als Charakteristikum eine mäßige Hochspannung, semirhythmische und rhythmische Thetaentladung und scharf abgesetzte, flüchtige Wellen, die als eine Mischung occipitaler und zentraler Schlafcharakteristika angesehen werden. In Phase 3 trat eine Sigmaaktivität abwechselnd mit flüchtigen Scheitelpunkten und Deltaaktivität von Niederspannung auf. Schließlich unterschied sich Stadium 4 durch eine fast kontinuierliche Deltaaufzeichnung mit Hochspannung. Was dabei die REM-Phase anbelangt, so wurden Verläufe von 3 "Sägezahn"-Wellen pro Sekunde, Aufzeichnungen von Alpha- und Thetaaktivität unter Niederspannung, schnelle Niederspannungsaktivität ohne Spindeln von Sigmatätigkeit und gelegentlich sehr langsame Durchgänge von mehr als 1 Sekunde Dauer vermerkt. Die damalige Schlußfolgerung war, daß aufgrund dieser vorläufigen Ergebnisse der Raumflug anscheinend keine schädliche Auswirkung auf die cerebrale Funktion besitzt.

Damals auch untersuchten Walter et al.[233] EEG-Daten von Raumfahrtkandidaten bezüglich der Festlegung von Grundlinien, die einen weiten Bereich von Schlaf- und Wachzuständen einnahmen. Die Durchschnittswerte erfaßten Ruhebedingungen, wiederkehrende somatische, auditive und visuelle Stimuli, Sicherheitsaufgaben und visuelle

Unterscheidung verschiedener Schwierigkeitsgrade, die auch für die Einschlaf- und Schlafphasen benutzt wurden. Trotz weiter individueller Unterschiede unter den Probanden erbrachte das Gruppenmittel und/oder das Varianzmuster in spektraler Dichte eine charakteristische Schablone für jede Testbedingung. Diese Untersuchungsmuster waren vereinbar mit neurophysiologischen Beobachtungen in Bezug auf Organisation cortico-subcorticaler Zwischenbeziehungen und cerebraler Systeme.

Wie ersichtlich wird, beeinträchtigen ständige Störungen des Tag-Nacht-Wechsels die Arbeits- und Leistungsfähigkeit von Piloten und Astronauten in starkem Maße. Somit kann durch die sich ergebende Unaufmerksamkeit, Abgespanntheit und Nervosität die Sicherheit im Flugverkehr bzw. das Gelingen eines Raumfahrtunternehmens besonders gefährdet werden. Daher sollten bei der Einteilung von Dienstplänen für fliegerisches Personal diese Resultate biologischer Rhythmuswechsel stärker beachtet werden.

In Bezug auf die Raumfahrt müssen für die Schlaf-Wachphasen andere Maßstäbe angelegt werden, als wie sie von der Erde her gewohnt sind, um neurologische und andere medizinische Komplikationen bei den Astronauten zu verhindern. Leider kann der Schlaf nicht konserviert werden, um dann die Astronauten oder andere fliegerische Besatzungen auf Abruf hin wieder voll leistungsfähig werden zu lassen. Sondern hier müssen die biologischen Gesetzmäßigkeiten hinsichtlich menschlichen Leistungsvermögens berücksichtigt werden.

III. Die Schwerelosigkeit:
Vor- und Nachteil für Astronauten

III. 1. Definition der Schwerelosigkeit

Des weiteren muß sich der Astronaut mit dem fremdartigen Zustand der Schwerelosigkeit vertraut machen. Im Inneren des Flugzeugs, wie auch außerhalb davon scheint für die Raumfahrer die auf der Erde gewohnte Gravitation aufgehoben zu sein. In Wahrheit bedeutet Schwerelosigkeit oder Gewichtslosigkeit im Grunde nicht, daß die Gravitation wirkungslos ist. Die Schwerelosigkeit ruht vielmehr von einer Situation, in der sowohl das Raumfahrzeug als auch sein Inhalt frei den gleichartigen Kraftwirkungen der Gravitation folgen können. Sobald ein Raumfahrzeug auf seiner antriebslosen Flugbahn kreist, unterliegen seine Hülle, seine Besatzung, kurzum alles in und um das Flugobjekt den Bewegungssystemen, die die Bewegung aller Himmelskörper bestimmen und aus diesem Grunde gibt es keine relativen Kräfte zwischen ihnen.

III. 2. Ihr Auftreten und ihre neurologischen Auswirkungen

Dieses unheimliche Erlebnis teilten als Erste 1965 Oberstleutnant Alexey Leonov, der sein Raumfahrzeug Woschod 2 für 1o Minuten verließ und als lebender Satellit neben seiner Raumkapsel mit einer Geschwindigkeit von 28.ooo Kilometer pro Stunde schwebte, mit dem amerikanischen Astronauten Edward White II von Gemini IV, der mit einer Rückstoßpistole einen kontrollierten Weltraumspaziergang unternahm. Das Leben unter Schwerelodigkeit bringt nebenbei noch weitere Probleme mit sich, die so selbstverständliche und alltägliche Dinge betreffen wie Essen, Trinken, Waschen etc. Nur eines ist dabei interessant, daß nämlich der Schluckakt unabhängig von

der Existenz oder dem Fehlen der Gravitation von statten geht, ja soweit, daß er gegen die Gravitation arbeitet d.h. die Möglichkeit zu essen während eines Kopfstandes. Gerade diese Phänomene waren auch die Hauptgründe für die bemannten Raumflüge vom Mercury-Gemini- und Apolloprogramm gewesen, die Anpassung von Astronauten an die Schwerelosigkeit zu erforschen. Im allgemeinen ist dieser Anpassungsvorgang viel fließender vonstatten gegangen als wie vorausgesagt. (Berry[17]). Aus der Sicht der Crews, so haben sie gelernt, mit Og Zustand zu leben und fühlen sich dabei wohl. Viele haben sogar zum Ausdruck gebracht, eine Präferenz der Og-Umgebung zu verleihen, da durch den Fortfall der Gravitation der Leistungsumfang gesteigert wird. Ebenfalls keiner der Mercury-Astronauten konnte über Schwierigkeiten bezüglich der Koppelung Vestibularsystem-Schwerelosigkeit klagen und auch nach dem Flug wurden bei der Auswertung der Filmaufnahmen keine neurologischen Befunde erhoben. Bei den Aufnahmen handelte es sich um im Flugprogramm festgelegte Kopfbewegungen bei bestimmten Arbeiten in der Kapsel und in bestimmte Richtungen mit dem Ziel, wahrnehmbare motorische Schwächungen zu entdecken. Abgesehen von psychologisch begründeten Anfällen hatten die Amerikaner nicht solche Schwierigkeiten wie z.B. der sowjetische Kosmonaut G.S. Titov mit Vostock 2[16], von dem über eine angeblich vorübergehende, das autonome Vestibularorgan betreffende Nervensystemveränderung berichtet wird. Nach alledem soll darunter seine "Arbeitsleistung" nicht geschmälert worden sein und (er soll) kein "essentielles physiologisches Unbehagen" erfahren haben.

Trotz des steigenden Innenumfangs in der Geminikapsel wurden keine Fehlorientierung oder Bewegungskrankheit, sondern normale zen-

tralnervöse Funktionen einschließlich des Labyrinths verzeichnet, abgesehen von Augengegenbewegungen bei der Besatzung von Gemini 5 und Gemini 7[81], ohne irgendwelche Veränderungen in der Sensibilität des Otolithenapparates zu zeigen. Desweiteren trat ein anderer Aspekt auf unter der Bezeichnung "Völlegefühl im Kopf" als Ergebnis einer verstärkten Neuverteilung der zirkulierenden Gesamtblutmenge, der auch von einigen Astronauten als ein Gefühl wie "verkehrt am Barren hängen", von anderen wiederum als "völlige Abrundung des Gesichtes mit zum Teil roter Verfärbung" oder als "chinesisches" Aussehen beschrieben wurde. Je größer die Raummodelle wurden wie z.B. beim Apolloprogramm, desto größer war die Wahrscheinlichkeit für steigende und raschere Bewegungen. Ausgiebige Kopfbewegungen, besonders zu Anfang des Fluges z.B. können daher in direkter Beziehung zu den Ursachen der Symptome für Bewegungsübelkeit gesetzt werden.

Tabelle I[81] (vgl. dazu S.34a) führt diese Befunde der Bewegungsübelkeit auf und zugleich die auf das Vestibularorgan bezogenen Eindrücke, die während der Apolloflüge gewonnen wurden, und nennt noch für jeden einzelnen die absolvierten Flugstunden aus der Militärzeit. Als Ergebnis kann keine Beziehung zwischen der Flugzeit, früherer Erfahrungen oder einer anderen Veränderung und den Symptomen der Übelkeit im schwerelosen Zustand hergestellt werden. Nur durch die Größenzunahme der Kapsel und verbunden mit der ausgiebigeren Bewegungsfreiheit für die Crew scheint nach Meinung vieler Autoren dieses Problem verstärkt zu werden. Daneben sollte das Gefühlsleben nicht außer Acht gelassen werden, da nämlich namhafte sowjetische Forscher glauben, der Gefühlszustand jedes Einzelnen besitze eine klare Beziehung zu der Bewegungsübelkeit.

Der Kraftaufwand des Astronauten bei imitierter Schwerelosigkeit senkt sich bei der Bewegung "zum Körper" um das 27 fache, bei der Bewegung "vom Körper weg" um das 18 fache und bei der Drehbewegung um das 3 fache.

Besonders im Hinblick auf die Manövrierbarkeit der Raumkapsel durch den Astronauten wurden Untersuchungen angestellt, um die Aufrechterhaltung und Exaktheit der Bewegungen in den verschiedenen menschlichen Gelenken bei Belastungen von 4-15 g zu studieren. Die Resultate besagten, daß bei Belastung über 6 g eine Bewegungsunfähigkeit der großen Arm- und Fußgelenke eintritt, aber Hand und Finger bei 8 g noch genügend beweglich sind. Bei Belastungen von 15 g bestehen gewisse Bewegungen der Hand- und Fingergelenke, aber ihre Beweglichkeit verringert sich beträchtlich. Daher bietet sich als Fazit an, einer automatischen Steuerung den Vorzug zu geben, wenn eine Belastung von über 4 g auf den Astronaut einwirkt, diese Überlegung bedarf aber noch experimenteller Ausreifung.

Bei unvorsichtigem Abstoßen des neben dem Raumschiff fliegenden Astronauten dreht er sich so lange um seine eigene Achse, bis ihn eine Gegenkraft wieder stoppt. Die Bewegung des durch ein Seil verbundenen Raumfliegers sieht im All folgendermaßen aus: Gemeinsam mit der Kapsel fliegt er um die Erde und dreht sich auch um sich selbst. Bei Rückkehr zur Raumkapsel und bei Zugausübung am anderen Ende des Seils fängt der Astronaut an, sich noch schneller zu drehen, je kürzer die Seillänge wird (gemäß dem Gesetz der Erhaltung des Bewegungsmoments). Diese Kräfte sind etwa vergleichbar mit der Beschleunigung bei der Pirouette im Eiskunstlauf.

Eine annähernd künstliche Schwerelosigkeit kann auch erzielt wer-

den, wenn sich der Mensch in einer Flüssigkeit befindet, deren Dichte der mittleren Körperdichte des Menschen entspricht. Diese Schwerelosigkeit wird durch Drehungen des Flüssigkeitsgefäßes mit 7o bis 8o U/min erreicht ("Müller Faß").
Daß bei den amerikanischen Astronauten auch nicht alles so glatt verlief, mag die Situation von Astronaut Gordon von Gemini 11 schildern, der einer Katastrophe nahe war: Bei ihm trat während des schwerelosen Zustandes der Verlust der Orientierung und Störungen in der Koordination des Muskelsystems auf, ein Anstieg der Pulsfrequenz (bis zu 18o Schlägen/min), die wahrscheinlich von der extrem hohen physischen Überbelastung, von der Zunahme des CO_2-Gehalts in der Kapsel abhängig war, sowie spontane Erhöhung der Temperatur und Feuchtigkeit in der Kapsel und des Raumanzugs. Was den Raumanzug bezüglich des Ausstiegs in das All anbelangt, so bezeichnen ihn manche Astronauten als Fehlschlag. Denn das Sichtglas beschlug, und das Gaskühlungssystem des Anzugs, das bei 15o kcal/h gesättigt ist, war nicht befriedigend. Außerdem behindert der Raumanzug in starkem Maße die Bewegungen der Astronauten. Der amerikanische Astronaut Armstrong sagte nach seiner Rückkehr aus dem All: "Fünfzig Prozent an Energie verausgabte ich im Kampf mit meinem Raumanzug...". Ebenfalls die Kosmonauten Leonow und Jelissejew sprachen von der Schwierigkeit im Weltraum zu arbeiten, und zwar sei die Tätigkeit vor allem physisch sehr anstrengend. Aus diesem Grund arbeiten und bemühen sich Wissenschaftler aller raumfahrenden Nationen um die Verbesserung dieses Problems.
Die Auswirkungen der Schwerelosigkeit sind nicht nur in der Betrachtung des zuvor aufgeführten interessant, sondern auch auf biochemischer Ebene. Krasnov[26] stellte in diesem Zusammenhang Un-

tersuchungen über die Enzymaktivität von Laktatdehydrogenase (LDH) und Creatinkinase (CRK) im Cytoplasma von Riesenneuronen an, wobei er den dorsocaudalen Teil des Nucleus Deiters und die cortikalen Schichten des cerebellären Nodulus von Ratten verwandte. Sein Grund war die Erfahrung verschiedener Vestibularreaktionen russischer und amerikanischer Astronauten während des Fluges. Die Ratten waren 22 Tage an Bord von Satellit Cosmos 605, wurden am 2. und 27. Tag untersucht und mit einer unter irdischen Bedingungen gehaltenen Kontrollgruppe verglichen, mit Fluoreszenzbestimmung von NAD bei Pyruvat → Laktat und dasselbe von Creatin bei Phosphocreatin → Creatin, mit Ninhydrin im alkalischen Medium. Seine Ergebnisse lauteten:

a. Am 2. und am 27. Tag für den Nucleus Deiters: Keine Aktivitätsunterschiede außer einem hohen CRK-Anstieg in einigen Nervenzellen. Dieser Enzymanstieg von CRK, das für die Bereitstellung von ATP als Energielieferant unerläßlich ist, zeigt stärkere Aktivität einiger Deiters'Zellen an und hängt wahrscheinlich mit der Inhibitorabnahme von Purkinjezellen der Vermis zusammen. Seine Folgerung war, diese Aktivitätssteigerung als Adaptation an die Erdschwerkraft zu deuten.
b. Was den Nodulus anbetrifft, so zeigte sich ein kaum ins Gewicht fallender CRK-Anstieg, dessen Interpretation wegen vorhandener Bergmannzellen und Kollateralen der Korbzellen schwierig war. Zugleich wurde ein Lipidanstieg in der Molekularschicht des cerebelären Nodulus verzeichnet.

Anhand der Ergebnisse von Kuhlmann und Lowry[24], ebenso von Robins und Loewe[25], die eine funktionelle Aktivitätssteigerung der Strukturen in der Molekularschicht aufgrund möglicher Steigerung oder

Qualitätsänderung der Afferenzen vom Otolithenapparat nach Eintritt in die Erdanziehung zeigen, vermutet Krasnov ebenfalls quantitative oder qualitative Stimulationsänderungen der Afferenzen vom Vestibularorgan zum Nodulus. Am 27. Tag normalisierte sich wieder der Lipidspiegel.

In ähnlicher Richtung verliefen die Untersuchungen von A. Gorbunova und V. Portugalov[27] am Institut für biomedizinische Probleme in Moskau, die sich den zytochemischen Nachforschungen des Protein- und RNA-Gehalts in den spinalen Mononeuronen und Neuronen der Spinalganglien von Ratten nach Abschluß von 22 Tagen unter Raumfahrtbedingungen widmeten. Denn seit die Schwerelosigkeit Veränderungen im motorischen Analysator und Zeichen von Atrophie im Muskelgewebe mitsichbringt, wurde ihr Interesse dahin gelenkt, den Metabolismus von den Motoneuronen des Vorderhorns des Spinalstrangs und der Neuronen der Spinalganglien, die am spinalen Reflexbogen beteiligt sind und die als Afferenzen fungieren, und die Motoneuronen der Vorderhörner, die als Efferenzen fungieren, zu untersuchen. Als Indikator der funktionellen Aktivität der Neurone diente die Änderung von RNA und Protein, das Ziel die Messung dieser Veränderung.

Nach 22 Tagen Raumflug zeigten ihre Untersuchungen keine Abweichung des RNA-Gehalts in den Motoneuronen des Vorderhorns, aber RNA-Reduzierung in den langen Neuronen der Spinalganglien. Der Proteingehalt im Zytoplasma der Motoneuronen und der Neuronen der Spinalganglien war bezeichnenderweise im Vergleich mit der Kontrollgruppe erniedrigt. Aus den Arbeiten Kakurin[28,29] und Kasyan[30] wird offenbar, daß sich beim Raumflug motorische Dysfunktionen hauptsächlich entwickeln durch den herabgesetzten Infor-

mationsfluß (Proprioreception) von seiten somatischer Muskeln, die ein funktionelles, inadäquates Ladungsmuster aufweisen und eine Erschlaffung der Antigravitationsmuskeln ausweisen. Unzulängliche proprioceptive Impulsation mag einen Mangel an Erregung in den Nervenzentren hervorrufen und so das Niveau normaler reflextrophischer Vorgänge in ihnen ändern. Das Niveau von Proprioreception verursacht den Stoffwechsel in den Neuronen des motorischen Analysators und gleicht es den Umgebungsbedingungen an. Aus Mangel an normalen Signalafferenzen von Proprioreceptoren atrophieren Nervenzellen teilweise oder vollständig. Daher mag der zytoplasmatische Proteinabfall in den Motoneuronen und ebenso die zytoplasmatische RNA- und Proteinverminderung der langen sensiblen Neuronen ein Ergebnis inadäquater proprioceptiver Impulsation sein.

Gorbunova et al.[27] werten diese Änderung als Anpassung an eine neue Lage dh. herabgesetztes Niveau der motorischen Funktion, was auch sehr wahrscheinlich erscheint, weil nach den Erkenntnissen die RNA- und Protein-Synthese eine wichtige Rolle in der Entfaltung (Entwicklung?) von Adaptationsreaktionen des menschlichen Körpers spielen. Als Erklärung für den Abfall der Indikatoren geben sie an: Beschleunigter Aufschluß von RNA und Protein im Zytoplasma und verminderte Neubildungsrate von RNA und Protein in den Nervenzellkörpern. Wieder unter terrestischen Bedingungen, die nach Gewöhnung an die Schwerelosigkeit einen stärkeren Stimulus für die Muskeln darstellen, wurde ein Anstieg der Impulsationen und von RNA nach 27 Tagen verzeichnet. Gemäß Jacob und Monod[77] führt Reduzierung des Proteingehalts, das als ein Repressor fungiert, eine merkliche Derepression der angestammten DNA-Stelle für die RNA-Synthese herbei, mit dem Resultat eines deut-

lichen RNA-Anstieges. Am 27. Tag kehrte der Proteingehalt im Zytoplasma der Motoneuronen auf das Ausgangsstadium zurück, womit die obengenannten Überlegungen untermauert wurden, und im Zytoplasma der langen Neuronen der Spinalganglien blieb der Gehalt weiterhin niedrig. Gorbunova[27] meint, der Unterschied in der Dynamik der oben aufgeführten Veränderungen scheint Ausdruck einer Manifestation metabolischer Differenzierungen in afferenten und efferenten Systemen zu sein.

Wie ebenfalls bekannt ist, entwickeln Astronauten unter Schwerelosigkeit Veränderungen im Hormonhaushalt und Elektrolytstoffwechsel, die während und nach ihrer Mission meßbar sind. So z.B. nach Rückkehr zur Erde eine Diureseabnahme, eine herabgesetzte Elektrolytausschüttung und eine verstärkte antidiuretische Wirkung im Blut.

Daher waren die Studien von Savina et al.[31] hinsichtlich des hypothalamischen-pituizytischen Neurosekretionssystems und der Rattennieren, die sich 22 Tage lang an Bord des Biosatelliten Cosmos 605 befanden, von besonderem Interesse. Unter Verwendung histologischer und histochemischer Methoden zeigte eine Analyse der Daten folgende Veränderungen im Nucleus supraopticus des Hypothalamus während der beiden ersten Tage nach dem Flug: Massenzunahme von Nuclei und Neurozyten, Farbintensitätsabnahme ihrer basophilen Substanz, ziemlich gleichförmige Verteilung von Neurosecretionsgranula im Cytoplasma und ihre Abnahme in Axonen sowohl hypothalamischer Nuclei als auch in den axonalen Terminalen der posterioren Pituizyten. Kurzum, all die obigen Resultate erhalten wir normalerweise aufgrund verstärkter Funktionsabläufe im hypothalamisch-pituizytischen Neurosekretationssystem während der Einwirkung verschiedener Stressfaktoren und sie weisen möglicherweise auch auf

eine erhöhte ADH-Ausschüttung hin trotz fehlender Hinweise in den Nieren auf eine ADH induzierte Antidiurese. Was die renalen Studien anbelangte, so wurde eine deutliche Gewichtszunahme der Nieren verzeichnet. Jedoch die histologische und histochemische Prüfung konnte keine Klärung in diesem Punkt bringen, da Savina weder eine Zirkulationsstörung noch strukturelle Änderungen bezüglich Nephronen und interstitiellem Gewebe fand. Wenn wir in unsere Überlegungen die Tatsache mit einbeziehen, daß Readaptation auf ein 1g sofort nach Rückkehr in das Erdschwerefeld beginnt und das hypothalamisch-pituizytische Neurosekretionssystem sich aktiv an den Anpassungsreaktionen beteiligt, so wird vermutet, daß 2 Tage eine hinreichende Zeitspanne darstellen für die Ausbildung manifester, morphologischer Reaktionen hinsichtlich Schwerkraftänderung, d.h. der Übergang von Schwerelosigkeit zu 1g.

Der Vergleich von Savina's Ergebnissen mit denen aus dem 24^{h}-Beschleunigungsexperiment (Pankova et al.[32]) besagt, daß die zuvor erwähnten Veränderungen nicht nur mit den Flugeinwirkungen, sondern auch mit der Readaptation auf 1g in Beziehung gesetzt werden können. Dies stimmt ebenfalls mit den Daten über den ADH-Anstieg im Blut und dem Angiotensinspiegel bei Astronauten während der ersten Tage auf der Erde überein. Deshalb zeigten die Tiere verstärkte Aktivitäten des hypothalamisch-pituizytischen Neurosekretionssystems und juxtaglomerulären Nierenapparates, die anscheinend auf die Kompensationsreaktion hinwiesen, und diese wiederum auf die Stabilisation der Elektrolythomöostase abzielte.

Es gibt auch Anzeichen dafür, daß z.B. der Harndrang in dieser Umgebung herabgesetzt ist und die Entleerung der Blase erst dann einsetzt, wenn sie bis zum Überlaufen gefüllt ist. Jedoch die Untersuchung der erwähnten Systeme während der ersten Stunden nach

der Landung ist erforderlich, um genau ihren Stellenwert während des Fluges zu verstehen.
Der Zustand der Schwerelosigkeit ist außerdem mit zahlreichen weiteren Änderungen gekoppelt wie z.B. auf dem Gebiet des Hormonhaushaltes und des Blutsystems.
So untersuchten Leach et al.[33] die Plasmathyroxinänderung an Apollomannschaften nach 13 Tagen Flug, aber besonders das Skylabprogramm bot ihnen Gelegenheit, ihre Studien über einen längeren Zeitraum als bisher auszudehnen. Die Blutproben vor und nach dem Raumflug der 9 Skylabastronauten zeigten einen statistisch signifikanten Anstieg im Mittel für das Plasmathyroxin (Leach's Normwert für T4: 5-12 µg/dl) von 1,4 µg/dl und für das TSH (Leach's Normwert: 2-12 µU/nl) von 4 µU/ml. Gleichzeitige Trijodthyroninspiegel (Leach's Normwert für T3: 8o-26o g/dl) sanken um 27 g/dl, die die gehemmte Umwandlung von T4 zu T3 anzeigte. Die T3-Abnahme wird als Ergebnis des ansteigenden Cortisolspiegels gewertet, der während und nach jeder Mission beobachtet wird. Obwohl theoretisch möglich, daß veränderbare Konzentrationen an Thyroxinbindendem Protein der Grund für die T4 Änderung gewesen sein kann wie bei den Apollo- und Skylab Astronauten, so war keine statistisch signifikante Abwandlung in ihren Seren hinsichtlich Gesamteiweiß, Albuminkonzentration oder T3 Bindungsmechanismus gefunden worden. Es fehlt daher der Beweis, eine Änderung des Thyroxinbindenden Proteins aufrechtzuerhalten. Man versucht es mit folgender Theorie zu erklären: der bekannte zephalische Wechsel bezüglich des Blutvolumens in Zusammenhang mit der Schwerelosigkeit hat möglicherweise den cerebralen Blutstrom verändert und dieser wiederum rief eine verstärkte thyroidale Aktivität durch einen Anstieg der TSH-

Freisetzung hervor. Das gestiegene TSH würde eine verstärkte Freisetzung von T4 und T3 durch die Schilddrüse hervorrufen. Erhöhte T4-Spiegel waren wahrscheinlich während der Skylabmissionen größtenteils vorhanden, wie nach den 8-14 Tagen dauernden Apolloflügen zu verzeichnen waren. Andererseits ließ der angestiegene Cortisolspiegel den T4- und TSH-Spiegel abfallen bis fast auf ihre Ausgangswerte vor Beendigung des 59 tägigen Unternehmens und den T4-Spiegel vor Beendigung der 84 tägigen Mission. Diese Ergebnisse bestätigen die thyroidalen Veränderungen, die während der Apolloflüge auftraten, und zeigen, daß sich der Schilddrüsenhormonspiegel während des Raumfluges ändert.

Zum Abschluß der Schwerelosigkeit möchte ich kurz die Arbeit von Ushakov et al.[34] auf dem Gebiet des Energiestoffwechsels menschlicher Erythrocyten während Hypokinese und Weltraumbedingungen streifen, die an Kosmonauten durchgeführt wurden, die den ersten und zweiten Raumflug an Bord der Weltraumstation Salyut-4 absolvierten, und an Testobjekten, die 49 tägige Erfahrungen unter Hypokinese bei -4° sammelten. In diesem Zusammenhang möchte ich daran erinnern, daß der Erythrocytenstoffwechsel bis zu einem gewissen Grad einen Funktionszustand des Makroorganismus wiedergibt und die gesamte katabolische Richtung des Stoffwechsels mit Veränderungen im Stoffwechsel der Erythrocyten verknüpft ist. Überprüfung amerikanischer und russischer Kosmonauten auf ihren Raumflügen boten eine entschiedene Verringerung der Erythrocytenmasse, des mittleren Erythrocytenvolumens und einen Abfall des Hämoglobingehalts, wobei diese Änderungsmechanismen noch unklar sind. Die Daten, die sich nach der Landung und während der Hypokinese ergaben, schienen identisch, wobei sie eine Abnahme der Glykolyse-

aktivität zeigten, obgleich der ATP-Gehalt unverändert blieb. Aber dennoch versprechen meiner Meinung nach diese Ergebnisse ein wertvolles Ausgangsmaterial darzustellen in der Prognose bezüglich menschlicher Sicherheit für ausgedehnte Raumflüge.

III. 3. Schaffen künstlicher Schwerkraft für Raumfahrtunternehmen - ein Segen für künftige Missionen?

Obwohl von der Raumfahrtmedizin her keine Dringlichkeit besteht, beschäftigen sich sowohl Amerikaner als auch Russen mit der Frage zur Schaffung eines künstlichen Gravitationsfeldes in der Raumkapsel. Aufgrund des weiteren Vorstoßes ins All und die zeitlich ausgedehnteren wissenschaftlichen Tätigkeiten in Raumlabors setzen den Menschen für bestimmte Zeitabschnitte der Schwerelosigkeit aus und dabei stellt sich das Problem seiner ausreichenden Anpassungsfähigkeit und der Verrichtung exakter und gewissenhafter Arbeiten unter diesen Bedingungen. Das Erzeugen dieser künstlichen Schwerkraft kann, wie sie schon von einigen Autoren bei manchen Zentrifugenversuchen als kurzzeitige Wirkung beschrieben wurde, durch Drehungen einer Zentrifugalkraft bewerkstelligt werden. Dieser Versuch wurde zum erstenmal am 14. September 1966 von Astronaut Gordon von Gemini 11 durch Verbindung der Kapsel mittels einer 3o Meter langen Leine mit der angekoppelten Agena-Zielrakete durchgeführt, wobei Kommandant Conrad nach Lösen von der Rakete und durch Gebrauch der seitlichen Kontrolldüsen eine Rotationsbewegung von ungefähr 2 Grad pro Sekunde oder einem viertel Umlauf pro Minute ausführte. Diese langsame Drehung erzeugte eine leichte Zentrifugalkraft, die einer Schwerewirkung von einem tausendstel g entsprach und die Astronauten ganz leicht in ihre Sit-

ze drückt, für sie akzeptabel ist und kein Unbehagen bei ihnen auslöst.

Bis jetzt stellt die Schwerelosigkeit keine Gefahr dar und die Leistungsfähigkeit der Piloten wird nicht beeinträchtigt. Trotzdem weisen manche medizinische Studien darauf hin, daß langdauernde Gewichtslosigkeit unter diesen Umständen physische Auswirkungen haben kann vergleichbar etwa mit langer Bettruhe. So bilden die unteren Extremitäten ein Sammelbecken für den Großteil unseres Blutes, aber während der Bettruhe und der Schwerelosigkeit geht diese Wirkung verloren und deshalb muß das Herz pro Tag durchschnittlich mehr Flüssigkeit in Bewegung halten. Falls auch nicht die "Antigravitationsmuskeln" ständig während des Fluges trainiert werden, bilden sie sich zurück, wie etwa nach längerer Bettlägerigkeit. Daneben erfolgt eine Streckung des Körpers um etwa 3-5 cm in diesem schwerelosen Zustand, die aber nach der Rückkehr zur Erde wieder verschwindet.

Nach den ersten Flügen vermerkten Amerikaner und Russen, daß ihre Astronauten in diesem Milieu im Rahmen der Dehydratationserscheinungen Calcium verloren, einer der Grundstoffe für die Knochenfestigkeit. Ich möchte hier nicht den Wirkungsmechanismus von Calcium erörtern, aber nur soviel dazu sagen, daß nur die Gravitationswirkung der Erde eine normale Funktion des Skelettsystems gewährt.

In Zusammenhang mit diesem Calciumverlust wurde für den 23 tägigen Raumflug von Orbitalstation "Salut" mit den drei Kosmonauten G.T.Dobrowolski, W.N.Wolkow und W.I.Pazajew ein speziell belastbarer Raumanzug getestet. Prof. A.S.Barer, einer der Schöpfer, umriß dessen Funktion folgendermaßen: "Bar seines Gewichtes, empfindet der Organismus des Kosmonauten den Mangel an Schwere und

Gewicht. Der Raumanzug "Pinguin" läßt eine Belastung des Knochenbaus und der Muskulatur durch künstliches Gewicht zu. Mit Hilfe eines komplizierten Amortisationssystems ist bei diesem Raumanzug eine Belastung der Stützmuskulatur, der Unter- und Oberschenkel, der Rumpfmuskeln und der unteren Extremitäten möglich. Durch die künstliche Belastung können die Knochen vor Calciumverlust bewahrt werden. Calcium verlieren die Knochen dann, wenn sich der Mensch längere Zeit im Zustand der Schwerelosigkeit befindet. Künstliche Belastung ermöglicht, den Muskeltonus ständig aufrechtzuerhalten." Die drei Kosmonauten schätzten diesen belastbaren Raumanzug sehr positiv ein.

Wie nun diese künstliche Schwerkraft künftig aussehen soll, ob ein Drittel der irdischen Gravitation oder die Hälfte, darüber zerbrechen sich noch die Wissenschaftler den Kopf. Aber achtlos an diesem Problem vorüberzugehen, wäre meiner Meinung nach völlig falsch, da sicher in einigen Jahren die Aktivitäten im Weltraum steigen werden und mehr Menschen als bisher aus den unterschiedlichsten Lebenssparten benötigt werden und somit die künstliche Gravitation eine allgemeine Notwendigkeit wird, also ein Stückchen kreisende Erde im All um die Erde. Der Vorteil liegt für meine Begriffe klar auf der Hand: Verbesserung der Wohnlichkeit im Raumschiff, Erleichterung beim Essen und der Bequemlichkeit, Wegfall der auftretenden Gleichgewichtsstörungen etc., kurzum der gewohnte Tagesablauf und die gleichen Bedingungen auf den Organismus wie auf der Erde. Bis zu seiner endgültigen Ausreifung werden die Raumfahrer durch unterschiedliche physische Übungskomplexe fit gehalten, denn schon Plutarch schrieb, Bewegung sei die Speicherung des Lebens.

Was den Stand der Sowjetunion in dieser Frage betrifft, so umreißt ihn Valyavski[23] folgendermaßen: die Forschung auf dem Gebiet der Schwerelosigkeit mag zeigen, daß der Mensch in der Lage ist, anpassungsfähige Systeme gegenüber dem schwerelosen Zustand zu schaffen. Bis zu seiner Ausreifung wird die Technologie weiterhin an diesem Problem arbeiten, da es "stärker in das erste Glied moderner Kosmonautik" tritt.

IV. Technische Voraussetzung und Durchführung der Untersuchungen zur Gewinnung neurologischer Daten

Zu dem oben Gesagten möchte ich kurz die technischen Geräte und Methoden zur Durchführung der Untersuchungen erläutern. Durch diese hochentwickelten Apparaturen und ihre Auswertung ist die Raumfahrtmedizin weitaus besser in der Lage, neurologische Vorgänge zu registrieren und durch die Interpretation (die Auswertung) dieser Ergebnisse neue Erkenntnisse zu vermitteln.
Außerdem möchte ich dies deshalb kurz streifen, da meiner Meinung nach der Mensch für Weltraummissionen nicht in dem Maße geboren ist, wie immer angenommen wird, und er in der Qualifikation für diese Aufgaben und eventuelle längerdauernde Raumflüge gründlich vorbereitet werden muß. Seine Funktion als menschlicher Gesamtorganismus und die Funktion signifikanter Körpersysteme muß der Fliegerarzt in seine Überlegungen miteinbeziehen als Antwort auf die Strapazen beim Raumflug genauso wie ein Ingenieur die Berechnung einzelner Systeme für die Raumfahrzeuge anzustellen hat.

IV. 1. Einige neurologische Meßprogramme

Bei den neurologischen Untersuchungsprogrammen liegt das Hauptgewicht auf dem Gehör, dem Vestibularorgan und dem Sehapparat mit all ihren verschiedenen Testmethoden und daher seien einige aus der großen Fülle genannt.
Bei dem Fitnesstraining der Astronauten werden die größten Anforderungen an das Vestibularsystem gestellt aufgrund der langdauernden, ziemlich langsamen Rotationsbewegungen in Raumkapseln mit möglichen Coriolisreizen.

Decher's Test[10,11], der vorallem die horizontalen Bogengänge reizt, gründet sich auf Montandons "L'epreuve giratoire liminaire"[12]. Seit Jahren schon ist diese Untersuchungsart im Trainingsprogramm sowohl der Amerikaner als auch der Russen ein fester Bestandteil. In Verbindung mit dieser Methode sollte immer als nützliche Ergänzung die kalorische Vestibularuntersuchung nach Hallpike durchgeführt werden, zur Bestätigung eines spontanen Nystagmus die Frenzelbrille und dann noch der spezielle Koordinationstest für Astronauten nach Graybiel und Fregly's "Quantitative Ataxia Test Battery"[13]. Daneben sei die Studie über die Winkelbeschleunigung auf die menschliche Empfindlichkeit (Clark und Stewart 1969[14]) mit dem Ein-Freiheitssimulator erwähnenswert, die sich der Rotationswahrnehmung und der oculogyralen Eindrücke als Indikatoren bedient. Eine andere Organeinheit kann nicht ohne die vorgenannte beschrieben werden, nämlich der Sehapparat. Obwohl er von der Integration vieler neuraler Inputs abhängt, sind die oculomotorischen Reflexe in erster Linie Antworten auf die Reize der Bogengänge. Newsom[15,116] nützte diese Beziehung für seinen Versuch mit der Kopfdrehung auf der Y- und Z-Achse aus und zeigte eine Zunahme der Hauptaugenbewegung oder auf der anderen Seite eine kompensatorische Erwiderung auf die Okulomotorik. Für diese Methode wird eine auf einer Zentrifuge montierte Untersuchungskammer benützt (Radius 2o Fuß) und die Versuchsperson sitzt in einem 45^{o} geneigten Stuhl bei 12,2 RPM, wobei die resultierende Kraft senkrecht zum Boden zeigt. Oder die Untersuchung des Blackout durch Beschleunigung mittels Zentrifuge und Ophthalmodynamometrie, die durch das gewonnene ERG Einsicht in den Zustand des Sehsystems während Stressituationen gewährt.

Die Auflistung könnte ich so weiter fortsetzen, aber an anderer Stelle bin ich schon sehr ausführlich auf ihre Resultate, die sich daraus für die Raumfahrt ableiten, eingegangen. Daneben findet noch der Space Simulator und vorallem das EEG unsere Beachtung.

IV. 2. Space Simulator

Besonders dem Space Simulator bescheinigen die Piloten einen hohen Stellenwert, da er überaus wertvoll sei, um ein Gefühl für die Einwirkung hoher Beschleunigungen und des daraus resultierenden Andruckes zu bekommen.
Die riesige Zentrifuge des Beschleunigungslaboratoriums der Marine (in Johnsville, Pennsylvanien) besteht aus einer pillenförmigen Gondel, aufgehängt am Ende eines 15 Meter langen Armes. Gondel und Arm werden von einem 16o Tonnen schweren elektrischen Motor von 4.ooo PS angetrieben, der sehr hohe Geschwindigkeiten zu erreichen vermag; die Gondel kann gedreht und der Passagier während des Experiments in unterschiedliche Positionen relativ zu den Andruckskräften gebracht werden.
Man fand dabei auch gleichzeitig, daß die Winkelbeschleunigung der Gondel verbunden mit den Rotationsbewegungen des Zentrifugenarms eine Korioliskopplung hervorrufen kann, die auf die Bogengänge einwirkt.
Diese Simulationsversuche sind deshalb von Bedeutung, damit sich der Astronaut mit den späteren Gegebenheiten im All vertraut machen kann und die gesamte Leistungsfähigkeit der Systeme unter wirklichen Beschleunigungsbedingungen getestet werden kann. Die Höchstbeschleunigung beim Mercury-Atlas-Programm betrug 8g und

für die Mercury-Redstone 11g. Der Terminus technicus Andruck, der bei Geschwindigkeitszunahme eines bewegten Objekts oder bei dessen Änderung der Bewegungsrichtung entsteht, wird in der Einheit "g" gemessen. Ein g entspricht der normalen Beschleunigung durch das Gravitationsfeld der Erde. Bei höheren g wird der menschliche Körper einer Kraft unterworfen, die einem Vielfachen seines Gewichts entspricht z.B. bei 1oo kg KG unter 3g einem Andruck von 3oo kg usw. Bei höheren Werten kann der Astronaut leicht bewußtlos werden. Dieses Training kann eine Widerstandsfähigkeit gegen hohen Andruck entwickeln, wie es J. Glenn[82] so eindrucksvoll beschreibt:

"Nach unseren ersten Zentrifugentesten fühlten sich die meisten von uns bei 1o g zerschlagen, bei späteren Versuchen fühlten wir uns unter einer Belastung von 14 oder 16 g nicht schlechter. Wir waren einfach zäh geworden. Wenn nach der ersten Flugphase 8 g erreicht werden, wird es für den Piloten schwer zu atmen, und es bedarf heftiger Anstrengungen des wild schlagenden Herzens, das Blut bis in das Gehirn zu pumpen. Gibt der Pilot auch nur einen Moment nach, dann schwindet sein Sehvermögen dahin; während das Blut sich aus seinem Gehirn zurückzieht, wird es vor den Augen des Mannes grau, und dies ist der erste Schritt zur völligen Bewußtlosigkeit." (J.Glenn)

Denn bei diesen hohen Belastungen, die beim Schuß ins All oder beim Wiedereintritt in die Erdatmosphäre auftreten, muß der Pilot außerdem in der Lage sein, das Raumfahrzeug genau auf seiner Flugbahn zu halten, um nicht in den Weltraum zurückgeschleudert zu werden oder nicht zu tief in die Atmosphäre zu stürzen, wobei immerhin 8 bis 1o g auftreten.

Daneben werden bei diesen Simulationen gleichzeitig Fragen bezüglich des Raumfahrzeuges selbst, wie z.B. die Cockpitausstattung, Typ und Verteilung der Kontrollsysteme, Fragen bezüglich des Druckanzugs etc. behandelt, die ebenfalls starken Einfluß auf die Leistungsfähigkeit des Piloten haben.

IV. 3. Anwendung und Stellenwert des EEG

"In der Tat kann keinerlei Beziehung zwischen einer Graduierung, die sich auf irgendwelchen Merkmalen des EEG gründet, und jenen aus psychologischen Testen hergestellt werden. Und da letztere mit eindeutigem Ziel einer Auslese von Piloten erdacht wurde, so klingt es ziemlich unwahrscheinlich, daß das Elektroencephalogramm Auskunft geben kann, die bei der Selektion behilflich wäre", so schrieb 1941 Adrian[51] über das Elektroencephalogramm und seine Folgerungen wurden von einer Fülle weiterer Studien während des II. Weltkrieges begründet.
Die Anwendung des Elektroencephalogramms (EEG) in der Luft- und Raumfahrtmedizin stellt eine wertvolle Methode dar bezüglich der Diagnose mancher Krankheiten des zentralen Nervensystems, vor allem der Epilepsie, der Ausdehnung intracranieller Verletzungen oder bei der Auswertung von Einflüssen des Luft- und Weltraums, wie etwa Hypoxie und $+G_Z$ Beschleunigungskräften, die unter Erdbedingungen unentdeckt blieben, aber ganz besonders als klinisches Hilfsmittel und Forschungsmethode bei der Auswahl von Fliegern und Astronauten hinsichtlich ihrer Tauglichkeit und Eignung. Was seine Entwicklung seit Ausbruch des II. Weltkrieges bis in die 60er Jahre anbelangt, so möchte ich vor allem auf den hervorragenden Überblick von Bennett und Duvoisin[39] verweisen, die die Rolle des

encephalographischen Screening hinsichtlich zukünftiger Astronauten und anderer Flugzeugmannschaften überprüften, aber (1964) zu dem Schluß kamen, daß das EEG keinen Nutzen bei der Voraussage fliegerischer Eignung hat, höchstens eine beschränkte Rolle bei der Identifizierung von Epilepsie.

Dagegen umrissen schon 1942 Thorner und Gibbs[40] die Möglichkeiten des EEG's für die Flugmedizin folgendermaßen: "Die Leistungsfähigkeit des Piloten hängt von der Funktionstüchtigkeit seines Großhirns ab, das EEG stellt den Indikator kortikaler Funktionen dar und somit ergibt sich die Nutzung, mit dem Elektroencephalogramm eine Auswahl des fliegenden Personals durchführen zu können."

Aber schon Prof. Kornmüller[41], ein Schüler von Hans Berger, sagte bei Befragung durch die Alliierten aus, eine positive Selektion von Piloten anhand des EEG's habe nicht durchgeführt werden können. Mit Sicherheit traten pathologische Befunde, vor allem solche mit Krampfpotentialen, in einer Häufigkeit von höchstens 3‰ auf und leisteten keine Gewähr für die fliegerische Qualität, zumal die EEG-Auswertung und Klassifizierung rein visuell erfolgte. Neben der Aktivierung latenter cerebraler Funktionsstörungen durch Standardmethoden wie etwa Hyperventilation, Schlaf, Schlafentzug, Verabreichung bestimmter Arzneimittel und Verwendung von Flackerlicht versuchte man durch Graphoelemente oder Kombinationen von Graphoelementen im EEG eine Verbindung zur Persönlichkeit oder zu psychischen Abnormitäten zu konstruieren, als auch sichere Hinweise für eine Prädisposition syncopaler Anfälle zu erhalten, wobei die Frage fliegerischer Qualität anhand des EEG's von zweitrangiger Bedeutung war.

Heutige Ableitungsmechanismen verlaufen unter Ruhebedingungen und Entspanntheit und für die Provokation nützt man die Verwendung von Flackerlicht und Hyperventilation. Aus seinen Untersuchungen schloß Puister[45], das "flache oder polyrhythmische EEG in Verbindung mit anderen Selektionskriterien zur Ausmusterung von Pilotenanwärtern benützt werden könnten, aber andererseits ist ein gutes Alphamuster allein keine Garantie dafür, daß der Kandidat ein erfolgreicher Pilot wird."

Nach jahrzehntelangen vergeblichen Versuchen gelang es Sem-Jacobsen[43,44], eine Beziehung zwischen EEG und fliegerischer Leistungsfähigkeit bei Piloten herzustellen und durch neue Methoden die Aussagekraft des EEG erheblich zu erweitern. Seit 1957 werden Inflight-EEGs[42], d.h. während des Jetfliegens abgeleitete Hirnstromkurven nach einem standardisierten Flugprogramm aufgenommen und in Gruppen A,B,C aufgeteilt und ausgewertet (vergleiche Tab. 2,3[42])(vgl. S.155a).

Auffallend dabei ist, daß bei Zentrifugentests keine Inflightveränderung in Gruppe B und C festgestellt wurde, die während der Flugmanöver auftraten; ein Punkt, den auch Sem-Jacobsen berücksichtigte und mit der langsameren Beschleunigung der Zentrifuge erklärt wird.

Das EEG hat ebenfalls eine gewichtige Rolle bei der Luftraumsicherheit inne, da die Signifikanz abnormer EEG-Befunde in asymptomatischen Individuen nicht ganz genau bestimmt wird. Im Zeitraum von 1961-65 hat die USAF School of Aerospace Medicine in einer Studie[46] 3o Kandidaten untersucht, die während dieser Zeit für besondere Raumfahrtprogramme ausgewählt waren und die abnorme EEG-Befunde gehabt haben sollen, da vorallem das Interesse durch den Be-

Tab.2

Standardisiertes Flugprogramm für inflight-EEG-Tests (n.Aschoff[42])

Steigflug auf ca. 3300 m

1. 2-G-Kurve für 35 sec
2. 3-G-Kurve für 3o sec
3. e-G-Kurve für 25 sec
4. 5 Rollen nach links in 12 sec
5. 5 Rollen nach rechts in 12 sec
6. 6-G-Kurve für 18 sec
7. Immelmann
8. 5 Bombenwurfübungen mit 6-G-Abfangmanöver
9. 3-G-Kurve für 3o sec
1o. Rückflug und Landung

Tab.3

Schema zur Klassifizierung der Piloten an Hand des Inflight-EEG und ergänzender Daten

	Inflight-EEG	Kameraüberwachung	Interview nach der Landung
Gruppe A	Keine oder nur minimale Veränderungen.	Aufmerksames Verhalten, keine Anzeichen für physische und psychische Überforderung.	Über jede Flugphase voll orientiert, klare Auskünfte, Anstrengung wenig bemerkbar.
Gruppe B	Deutliche Verlangsamung der kortikalen Aktivität mit Auftreten von Delta- und Zwischenwellentätigkeit bis zu 8 sec Dauer während besonders anstrengender Flugphasen.	Unkontrollierte Augenbewegung, plötzlicher Tonusverlust der Gesichtsmuskulatur.	Erschöpftes Aussehen, Abgespanntheit, nur mühsames Rekapitulieren aller Flugphasen (grey-outs).
Gruppe C	Wie bei Gruppe B, aber Dauer der langsamen Rhythmen bis zu 90 sec.	Wie bei Gruppe B, zusätzlich konvulsive Kopfbewegungen.	Flugphasen mit extremen Streßbedingungen werden nicht erinnert (black-outs mit Bewußtseinsverlust).

richt einer möglichen Anfallskrankheit bei einem von ihnen geweckt wurde.

Sein Fall lautete: Dieser Aspirant litt aufgrund früherer Untersuchungen an Grad III der EEG-Rhythmusunregelmäßigkeit. Obgleich asymptomatisch und aufgrund der Schwere des Ableitungsmusters unter ständiger Überwachung hatte der Patient 4 Jahre später offenbar eine Anfallskrankheit entwickelt. Er litt hinterher an wiederkehrenden Epilepsieanfällen in Verbindung mit Stress und Müdigkeit nach langen Arbeitsstunden während seiner nichtfliegerischen Tätigkeit in der Kampfzone. Hätte sich der Patient nicht einer speziellen Begutachtung unterzogen und wäre sein EEG-Befund nicht entdeckt worden, so wäre ein fatales Flugzeugunglück die Folge gewesen.

Über den Sinn und Wert des EEG berichteten Blanc, Lafontaine und Laplane[48,49,5o] anhand von 8ooo Auswertungen des Air France Medical Service. Das Ziel des EEG, so schrieben sie weiter, liegt bezüglich der Aeronautik auf zweifachem Gebiet:

a. Epilepsie und die Nachwirkungen organischer Hirnerkrankungen zu erkennen, die gerne durch Anfälle zu Bewußtseinsstörung führen.
b. Möglichen Zwischenfällen oder Dekompensationen bei anscheinend gesunden Kandidaten zuvorzukommen, z.B. die sich schon gut angepaßt haben und die im allgemeinen keinerlei bedeutende neuropsychiatrische oder pathologische Symptome oder irgendwelche andere derartige Hinweise zeigen.

In einer anderen Arbeit kamen sie zu der Folgerung, die die Basis zu dieser Untersuchung hätte bilden können: "Die Kriterien eines konventionellen EEG können nicht als solches für die Flugmedizin

angewandt werden und sehr allgemein gesprochen, für die Studie einer Gruppe normaler Individuen. Geprüft unter einer evolutiven Perspektive werden die intraklinisch auftreten Störungen junger Untersuchungspotentialen ohne jegliche neurologische oder begleitende Hinweise in der Mehrzahl der Fälle mit psychologischen, psychophysiologischen und psychiatrischen Einflüssen in Verbindung gebracht." In Zusammenhang mit der vollständigen psychobiologischen Studie über die Untersuchten verspricht möglicherweise das EEG wesentliche Einzelheiten bei der Selektion von Piloten für Überschallflugzeuge und Kosmonauten.

In Fortführung von Bennett's Untersuchungen (1965)[53] an 1332 EEG-Befunden wurden von 1965 bis Ende 1969 an der USAF Akademie von Richter et al.[52] 2947 Kadetten untersucht mit dem Ziel einer Prävalenz für dysrhythmische und epileptiforme Aufzeichnungen. Die Elektrodenanbringung schloß sowohl unipolare als auch bipolare Schreibung ein, wobei die unipolare die ipsilaterale Ohrreferenzelektroden benützte und unter Licht-Stimulierung und dreiminütiger Hyperventilation ablief. Die Resultate gibt die Tabelle (vgl. S.157a) wieder, die ich erläutern möchte. 97,1 % der Kadetten zeigten normale EEG. Die nonfocalen Aufzeichnungen sind in jeder Gruppe vorherrschend. In der Gruppe III hatten von den 14, die Spikes oder Spike-Wellen zeigten, 4 wenigstens einige 6 Hz Spike-Wellen und trotz der kontroversen Meinung über die 6 Hz Spike-Wellen gab es noch zwei weitere Fälle, aber mit niedriger Frequenz. In allen vier Fällen würden allein schon die Thetaentladungen bei Anfällen auf die abnormen Protokolle hingewiesen haben. Ebenfalls beeinflussen Medikamente das Ergebnis, wie z.B. Chlortrimeton vor der EEG-Ableitung appliziert, und rufen jene Spike-Wellenabnormalitäten hervor. In dieser Gruppe III waren aufgrund

TABLE II. RESULTS

Category	Number	Percentage
Total Cadets	2947	100.0
Normal EEG	2862	97.1
Abnormal EEG	85	2.9
Grade I dysrhythmia	51	1.7
focal	8	0.3
nonfocal	43	1.4
Grade II dysrhythmia	19	0.6
focal	3	0.1
nonfocal	16	0.5
Grade III dysrhythmia	15	0.5
focal	5	0.2
nonfocal	10	0.3
Spike or Spike-wave	14	0.5
Frequent paroxysmal theta activity	1	<0.1

TABLE III. 14 CADETS WITH SPIKE OR SPIKE-WAVE IN THEIR RECORDS

Ident #	EEG Abnormality	Spike	Spike-wave	6 Hz Spike-wave	14 and 6" positive spikes	Focal preponderance	USAF SAM Eval	Head trauma*	Comments
73	Multiple spikes, spike-waves (some 6 Hz)	+	+	+	—	—	—	—	
82	Multiple spikes, spike-waves (some 6 Hz)	+	+	+	—	—	—	—	Chlortrimeton 8 mg 5 hrs before test
518	Multiple spikes, spike-waves	+	+	—	+	—	+	—	
988	Multiple spikes, spike-waves	+	+	—	—	—	—	—	Abnormality present only during photic stimulation
1344	Left temporal spike-waves 6 Hz	—	+	+	—	+	+	+	
1388	Bursts of spikes and sharp waves	+	—	—	+	—	—	—	
1944	Multiple spikes and sharp waves	+	—	—	—	—	+	+	
2243	Multiple spikes and sharp waves	+	—	—	—	—	+	—	
2260	Left frontal spikes, sharp waves and theta	+	—	—	—	+	+	+	
2264	Left frontal spike, prominent gen, beta	+	—	—	—	+	+	+	
2312	Scattered 6 Hz spike-waves	—	+	+	—	—	—	—	
2339	Right anterior spike-waves	—	+	—	—	+	+	—	Photic activation
2582	Bilateral spikes. Left frontal preponderance	+	—	—	—	+	+	—	
2672	Multifocal spikes, spike-waves	+	+	—	—	—	+	+	
	Totals	11	8	4	2	5	9	5	
	5 subjects with head trauma	4	2	1	0	3	5	5	

*History of trauma to head with visit to doctor, loss of consciousness, or confusion.

eingehender Prüfung Kadetten mit signifikanten Kopftraumen als Vorgeschichte vertreten oder einer mit häufigen, sehr ernsten Migräneanfällen, die er aus Karrieregründen verheimlichte. Oder wieder ein Anderer mit weitgestreuten Spikes und Spike-Wellen Paroxysmen bei der Licht-Stimulierung, die Übereinstimmung mit den Ergebnissen von Buchthal und Lennox[56] zeigten. Kurz zusammengefaßt hatten 23,9 % Kopftraumen als Vorgeschichte, 14,6 % entsprachen den Bezeichnungen "Unbewußt", "Gehirnerschütterung" oder "Amnesie" in Verbindung mit Kopfverletzung. Von den 23,9 % hatten 3 % abnorme EEGs. Was die o,5 % oder 14 Fälle der Spikes und Spike-Wellen anbelangt, so ergaben sich, verglichen mit Bennett[53], der eine andere Einteilung benützte als Richter et al.[52], ähnliche Werte. Denn diese geringfügige Abweichung rührte von Richter's Entscheidung her, die "Borderline" in die Normgruppe mit einzubeziehen, und sie gründete sich auf Bennett's Meinung, daß das Risiko hinsichtlich Flugsicherheit in denjenigen mit unzweideutig abnormen Ruhe- oder Aktivitäts-EEG innewohne.

Um nochmals auf Buchthal und Lennox zurückzukommen, so lag deren Hauptgewicht eher auf den kleinen occipitalen Wellen, die später sehr kräftig von Aird und Gastaud[54] unter dem Begriff der "kleinen occipitalen Wellen der Jugend" populär gemacht wurden, und die den oben genannten Autoren zu ihrer Gruppierung des Abnormen beitrugen, da sich deren terminologische Erklärung etwa so darstellt: "Auffallend, abnorm, nicht paroxysmatisch: wie das Obige, aber außer einer erkennbaren Menge ($<$ 1o %) an Aktivität $<$ 6 Hz und einer Amplitude gleich oder höher als die von Alpha. In der Hälfte der Fälle war wieder die niedrige Aktivität wie gewöhnlich in einer occipitalen Region lokalisiert." Aber Richter et al.

haben sie wegen ihres geringfägigen Auftretens ignoriert oder übersehen.

Schon 1941 schloß Williams[76] aufgrund seiner Untersuchung mit 195 Epileptikern, 337 posttraumatischen Fällen und 1oo normalen RAF-Mitgliedern, daß "Berufsstress" bei Auswahlverfahren die weniger leistungsfähigen und weniger stabilen RAF-Mitglieder heraussiebte und das Vorherrschen von EEG-Abnormalitäten um 5o % von dem minderte, das man in anderen "normalen" Bevölkerungsschichten finden könnte.

Richter's Resumee führte zu einer niedrigen Prävalenz paroxysmaler Protokolle bei Militärpersonen und zu einem Stellenwert des EEG bei der Musterung von Anwärtern für das Pilotentraining.

Das Problem der Früherkennung neurologischer Krankheiten in der Flugmedizin ist sehr ernst zu nehmen, um das Schlimmste bei möglichen Anfällen und das daraus resultierende fliegerische Unvermögen zu vermeiden. Ich möchte dieses Problem anhand eines Falles (beschrieben von Seipel und Wentz[75]) behandeln, um die Unterstützung des EEG bei der Diagnosestellung herauszustreichen.

Fall: 34 Jahre alter Pilot, neurologisches Konsil wegen ungeklärter Bewußtlosigkeit.

1946 Schädelbruch bei Autounfall und 24 stündige Bewußtlosigkeit. Frakturseite unbekannt. Bei wiederkehrendem Bewußtsein amnestisch während der Episode und völliges Aufklären der Erinnerung nach einigen Tagen. Während des mehrmonatigen Krankenhausaufenthalts symptomfrei. 1-2 Jahre lang kurze orthostatische Hypotension. Bei Nachtflug als Copilot 2o minütige Bewußtlosigkeit ohne irgendwelche Aura. Nach Aussagen des Pilots war er nicht ansprechbar, eine leicht zuckende Bewegung der linken Seite wurde bemerkt. Keine Inkontinenzzeichen, aber Biß auf die Zunge. Bei Erwachen

fühlte sich der Patient "verschwommen", aber weder müde, "ausgelaugt", noch schwach und ohne Kopfschmerzen. Dann führte er das übliche Checken durch, aber seine Handschrift war unleserlich; er sprach in zusammenhängenden Sätzen. Am nächsten Tag war er wieder fliegerisch gesehen in Ordnung.

Folgender Krankenhausaufenthalt zwecks neurologischer Abklärung mit Dilantintherapie (1oo mg 3 x tgl.). Weder Anfälle als Kind noch ähnliche Episoden.

Die neurologische Untersuchung ergab außer einer Abweichung in der Luft- und Knochenleitung bei der Gehörprüfung nichts besonderes, ebenso die anderen Routineuntersuchungen (EKG, Laborwerte etc.). Das Röntgen aber zeigte beim Carotisangiogramm keine Füllung der rechten Seite bei gleichzeitiger guter Füllung links. Pneumoencephalogramm war soweit in Ordnung, außer daß der rechte Ventrikel symmetrisch weiter war als der linke.

Das EEG zeigte einen Basisalpharhythmus von 1o pro Sekunde mit dem Beweis für eine Dysrhythmie, als auch eine Amplitudenasymmetrie mit höherer Spannungsaktivität linksseitig in allen Ableitungen. Erniedrigung auf 4 pro Sekunde wurde häufig in der linken Seite gesehen. Häufige Spikes waren in den linken Temporalableitungen und vereinzelt in den rechten Temporalableitungen vorhanden. Hohe Spannungsentladungen irregulärer, niedriger Aktivität waren gelegentlich in allen linken Ableitungen zu sehen, aber mit der stärkeren Markierung der Temporalableitungen. Hyperventilation rief eine weitere Auflösung in allen Ableitungen hervor, besonders rechts, mit dem Aufbau hoher Spannungsaktivität und angestiegenen Spikes bilateral. 2 pro Sekunde war ebenfalls in allen Ableitungen apparent.

Die Interpretation lautete auf generalisierte Abnormalität vergleichbar mit einer konvulsiven Störung und generalisierten cerebralen Atrophie, die mehr rechts ausgeprägt war.
Die Meinung des Untersuchers war, daß der Patient einen grandmal Anfall erlitten hatte, da er rechtsseitig eine cortical focale Komponente aufwies. Die zugrundeliegende Ätiologie dieser Pathologie war wahrscheinlich die diffuse corticale und subcorticale Atrophie und Vernarbung, sekundär zum Gehirntrauma des Autounfalls 1946. Neben der Anfallsdiagnose wie z.B. durch das becbachtete Zucken der linken Seite und dem Zungenbiß hat das EEG die Diagnose gestützt und auf eine generalisierte cerebrale Abnormalität hingewiesen; auch bei Fehlen von infantilen oder jugendlichen Anfällen wie bei unserem Patienten und aufgrund der Ernsthaftigkeit dieser Krankheit, die eine sofortige Abklärung nach sich ziehen muß, muß das Auftreten von Anfällen im Erwachsenenalter pathognomonisch an einen Gehirntumor denken lassen. Sofortige Antikonvulsivatherapie muß nach Anfällen einsetzen.
Das EEG zeigte also, daß dieser Patient an einem diffusen, durch Trauma bedingten Schaden litt mit nachfolgender Vernarbung und Atrophie, wobei die Pathologie viele Gründe haben kann wie etwa Trauma, vaskuläre Beeinträchtigung, Toxineinwirkung und manchmal auch keine bestimmbare Ätiologie. Ob nun die Atrophie die Ursache der Anfälle war oder ob die Atrophie die zugrunde liegende Pathologie reflektiert (in unserem Fall die Vernarbung), die dann die Anfälle verursachte, kann nicht sicher gesagt werden.
Darüber hinaus wird neben dem EEG die Anwendung von Echoencephalogramm und Gammaencephalogramm zur Tumorfahndung von Lavernhe et al.[66] für die Diagnosestellung der Epilepsie bei Flugzeugmannschaften empfohlen.

Dille[169] fand in 55 % von 1383 Fällen mit Bewußtlosigkeit Kopftraumen und unter fast 7oo.ooo Fällen waren o,2 % mit Konvulsionen, Ohnmachtsperioden und cerebrovaskulären Unfällen (Epilepsiehäufigkeit der Gesamtbevölkerung schätzungsweise o,5 % und 1,o %).

Bennett[62] schreibt in seiner Arbeit über die Epilepsie bei Fliegerbesatzungen, daß konvulsive Störungen ein signifikantes Problem in der Flugmedizin jeglicher Sparte darstellen und daß trotz vieler Einschränkungen, die bestehen, das EEG ein lohnendes Screening-Verfahren ist, weil es für spätere Zwecke als eine Art "Beleg" dienen kann. Obwohl Hyperventilation routinemäßig in der Klinik zur EEG-Provokation benützt wird, ist der diagnostische Wert stets fragwürdig, da Balke et al. in einer Studie nachwies, daß durch Training oder Anpassung die Reaktion auf die Hypocapnie abgeändert werden kann. Andere Provokationsmethoden zur Auslösung von EEG-Abnormalitäten, die aber fehlschlugen, sind der orthostatische Toleranztest mit dem Kipptisch (Dermksian und Lamb), der Valsalva (Arbeit von Duvoisin) und die bilaterale oculäre Kompressionsmethode (Gastaut et al.).

Daß das EEG nicht immer Hinweise für Abnormalitäten gibt, mag Raymann's[59] Arbeit zeigen, in der 5 Piloten keinerlei Indikation für Anfallsstörungen in ihrer Vorgeschichte hatten und bei einigen sogar normale EEG-Befunde kurz vor dem jeweiligen Anfall abgeleitet wurden.

1. F-4 : Pilot in 3o.ooo ft bewußtlos, nach SAM-Untersuchung Diagnose einer Epilepsie des Temporallappens
2. C-141: Pilot mit grandemal Anfall in 35.ooo ft
3. T-29 : Pilot mit grandemal Anfall in 9.ooo ft
4. C-135: Pilot mit grandemal Anfall in 23.ooo ft
5. T-39 : Pilot mit grandemal Anfall in 12.ooo ft

Daher wird heute genau wie damals (Bennett und Duvoisin[39]) der Stellenwert des EEGs weiterhin angezweifelt wie z.B. von Oberholz et al.[47], da es manchmal für einige Überraschungen sorgt, so in Nichtaufzeigen von Hirnschädigungen, statt dessen aber einen Kompensationsmechanismus, Fehlen von Korrelation mit klinischen Symptomen etc. Kurzum, die Hoffnungen, das EEG würde ein genauer Indikator corticaler Funktionen sein, haben sich nicht erfüllt; daher sprechen ihm die Autoren nur die Rolle einer initialen routinemäßigen Screeningmethode zu sowohl aufgrund der Abschätzungskriterien als auch in den Auswahlmethoden gegenüber den Untersuchungskandidaten und hoffen, durch eine Wiederbegutachtung die Wertigkeit der EEG-Interpretation zu erhöhen und Falschinterpretationen und Nachteile für die Zukunft zu vermeiden.
Daneben stellten Oberholz et al. aufgrund ihrer Untersuchung fest, daß Spikewave-Varianten und Paroxysmen auf jeden Fall eine Aussonderung nach sich ziehen muß und EEG-Abnormalitäten durch ein zweites EEG eines anderen Untersuchers überprüft werden sollten. Bei EEG-Anomalien wird das weitere EEG mit einem gleichzeitigen sensomotorischen Leistungstest durchgeführt.
Die Auswertung der cerebralen Kollateralzirkulation wird gekoppelt mit uni- und bilateraler Kompression der Vertebralarterien und Carotiden und ein Jahr später erfolgt eine erneute Nachuntersuchung, um ein Fortschreiten der EEG-Anomalien auszuschliessen.

Für mich persönlich bedeutet die Verwendung des EEG in der Flug- und Raumfahrtmedizin eine sehr hilfreiche Suchmethode in der Hand des erfahrenen Arztes zur Feststellung von Tumoren, von Blutungen und Epilepsien, darüber hinaus ein wertvolles Hilfsmittel bei

der Auswahl nicht nur der Aspiranten von Astronauten und Piloten, sondern auch von Personen, die in anderen Bereichen große Verantwortung inne haben, und schließlich ein geeigneter Indikator zur fortwährenden Überprüfung von aktiven Astronauten und Piloten während ihres Trainingsprogramms, bei der ständigen Routinekontrolle auf ihre Flugtüchtigkeit hin oder auf ihren Operationseinsatz, um bis dahin noch unentdeckt gebliebene oder sich zwischenzeitlich entwickelte cerebrale Dysfunktionen, latente oder subklinische Hirnsyndrome in den Brennpunkt zu bringen und sofort eliminieren zu können.

V. Auswertung einiger künftiger Raumfahrtunternehmen, persönliche Erfahrungen der Astronauten und technisch-medizinischer Stand USA - UdSSR

V. 1. Neurologisch-medizinischer Gehalt von Spacelab und einigen anderen Missionen

Mit dem Vordringen in den Weltraum eröffneten sich dem Menschen neue Perspektiven und veranlaßten ihn, für längerfristige Untersuchungs- und Forschungsaufgaben Himmellabors in das All zu schicken. Diese werden ständig mit Wissenschaftlern aller Sparten besetzt sein und für deren routinemäßige Auswechslung soll ein Pendelverkehr Erde-Weltraum eingerichtet werden (Space Shuttle Project). Bis zu ihrer vollständigen technischen Ausreifung werden schon heute mit Fleiß Trainingsstunden auf den Nachbildungen absolviert, um die künftigen Mannschaften für ihre späteren Aufgaben gründlich vorzubereiten.[197]

Ein Arbeitstag solcher Simulierung einer Raummission gestaltet sich so: 14,5 Stunden Arbeiten nach Plan, 8 Stunden Schlaf und 1,5 Stunden Freizeit. Fast 9,5 Stunden der Arbeitszeit sind für Experimente vorgesehen.

Schon Berry[162] verwies damals auf die Möglichkeit, Raumlabors im All einzurichten, und vertrat die Meinung, nur ein sechsmonatiger Raumaufenthalt könnte brauchbare Ergebnisse für jegliche Sparte der Raumfahrtmedizin bringen.

Wie schon vorher beschrieben[198], haben die Skylabbesatzungen über keine Probleme in Bezug auf ihr Schlafverhalten berichtet und manche vertraten die Meinung, daß der Schlaf unter Allbedingungen besser war. Dies steht jedoch im Gegensatz zu allen vorher ge-

machten Erfahrungen. Trotz gleicher Raumverhältnisse, die auf die Astronauten einwirken, besteht doch ein beträchtlicher Unterschied zwischen den Räumlichkeiten des Skylabraumlabors und denen von der Gemini- und Apolloserie, die entscheidenden Einfluß auf das Schlafverhalten hatten. Zum Vergleich besitzt Skylab eine Arbeitsfläche von 12,7 ft^3, während die Apollokapsel nur annähernd 3 % dieser Größe und der Geminityp weniger als 1 % davon erreichten.

Kurzum Skylab bietet einen fast ähnlichen Tagesrhythmus wie auf der Erde, der sich auch neurologisch auswirkt.

Von Interesse ist gleichfalls die Auswertung der Daten von Biosatellit III[199,200], der nicht volle 9 Tage mit einem Nemestrina Makaken die Erde umkreiste. Ein horizontaler Nystagmus trat während der Zeit größter G-Einwirkung auf, etwa Ende der 3. Minute bis Beginn der 4. Minute, begleitet von einer Apnoe.

Diese Erscheinungen dauerten nur kurze Zeit und waren nicht von einer Verschlechterung des allgemeinen Zustands gefolgt. Durch Winkelbeschleunigung und Verzögerung der Endolymphe, mit veränderlicher Kräfteeinwirkung auf die Otolithen abgewechselt, wurde ein Nystagmus als oculo-vestibulärer Reflex hervorgerufen, der sich in Schwindel, Vertigo und Desorientierung äußerte.

Durch die Belastung von 7 G auf die Brust respektive Lungenflügel, gefolgt von einem veränderten alveolären Gasaustausch wurde die Atmung stark gesenkt und von einer 5 Sekunden dauernden Apnoe abgelöst. Der Beginn eines jeden Experiments war mit einem Anstieg der Herz- und Atemtätigkeit verknüpft, der sich bald wieder abflachte.

Dieser Flug des Makakenaffen mag dennoch seine Berechtigung darin

finden, daß dieses Tier, viel empfindlicher gegenüber den Auswirkungen der Schwerelosigkeit, einen echten medizinischen Beitrag für den Menschen geleistet hat, um den Gefahren im All wirksam begegnen zu können.

Zu den Apollo- bzw. Gemini-Programmen habe ich noch einige medizinische Anmerkungen zu machen.

Bei den Apolloflügen und deren medizinischer Auswertung[162] wurden Veränderungen entdeckt im cardiovaskulären System, im System der Skelettmuskeln, der Zusammensetzung und Quantität des Körperwassers nebst des zirkulierenden Blutes, der Hormonspiegel und der weißen Blutkörperchen, die uns vor dem schädlichen Einfluß von umgebenden Stressfaktoren und dem Übergriff bösartiger Mikroorganismen schützen. Daß in anderen Systemen keine biologischen Wechsel beobachtet wurden, heißt nur, daß im Falle von Veränderungen sie keine ausreichende Größenordnung besessen haben, um mit den angewandten Methoden entdeckt zu werden.

Nur wenige Parameter, die beim Geminiprogramm aufgezeichnet wurden, zeigten Veränderungen. Der Verlust der Knochenfestigkeit gipfelte in 14 % während des 8 Tage dauernden Flugs und normalisierte sich fast bis auf 1 % Verlust bei der 14 tägigen Mission. Die Messungen diesbezüglich sind bemerkenswert für ihre Unstimmigkeit. Gemäß der 4- und 8-Tage Flüge hatte man genügend Grund zur Annahme, daß der fortschreitende Calciumabbau mit der Dauer der Exposition in der Schwerelosigkeit anhalten wird.

Doch die diesbezüglichen geringen Verlustwerte von Gemini VII nach 14 Tagen im All ließen Fragen aufkommen in Bezug auf die Wirksamkeit des Trainings, der adäquaten Wasser- und Calciumaufnahme, diätetischer Faktoren und der Ruhezeit, die als mögliche Kausalgründe in Betracht gezogen werden können, die Umfang

und Menge des Calciumverlustes der Knochen bestimmen.
Eine weitere wichtige Beobachtung betraf den kleinen Finger, der als Kontrolle diente, dessen Calciumabwanderung aber dem gleichen Rhythmus unterlag wie die anderen Knochen. Daher muß dieses Phänomen noch weiter untersucht werden. Daneben wurde auf dem 14 Tage-Flug ein geringer, dennoch signifikanter Verlust an Muskelgewebe verzeichnet, dessen wissenschaftliche Aufzeichnung aber mangels Gerät fehlte. Ob dieser Verlust von der Expositionsdauer abhängt, ist unbekannt.
Der Verlust der roten Blutkörperchenmasse wird geprägt von einer Abwärtstendenz und Niveausenkung mit fortschreitender Zeitdauer. Der 2o % Verlust wurde im Gegensatz zu dem 8 tägigen Allflug auf dem 14 tägigen Geminiflug verdoppelt. Hinsichtlich dieses Problems bestehen viele Mutmaßungen und aufgrund fehlender Daten kann die Hypothese, dieser Verlust der roten Blutkörperchenmasse sei ein sich selbst begrenzendes Phänomen, nicht gestützt werden.- Doch haben detaillierte Studien wertvolle Daten zum Studium der Zerstörung roter Blutzellen und von Blutkrankheit beigetragen, daneben auch zur Identifizierung der Metallbestandteile der weissen Blutzellen und des erhöhten Spiegels an Titan und Zink in gewissen Krebszellen, die beim "Sturm" dieser Krankheit signifikant sind.
Bei den Skylabunternehmen tat sich auch ein relativ neuer wissenschaftlicher Zweig in der Raumfahrt auf, nämlich die Biostereometrie.
Biostereometrische Analysen der Körperform wurden einige Male vor und nach dem Flug bei den Astronauten aller drei Skylabflüge vorgenommen. Die Analyse wurde durchgeführt, indem die dreidimensionalen Koordinaten zahlreicher Punkte auf der Körperoberfläche von

stereoscopischen Bilderpaaren hergeleitet wurden.
Das Volumen körperlicher Segmente und der Körper als Ganzes wurden durch Integration von kreuzweisen Bezirken berechnet, die von Koordinationsdaten hergeleitet wurden. Alle 9 Astronauten zeigten regionale Verschiebungen in der Volumenverteilung, die in Beziehung zu jenen des gesamten Körperwassers, der Muskelmasse und der Fettverteilung gesetzt werden konnten. Die Veränderungen des Körperwassers ergab sich aus der Wiederverteilung des Körperwassers unter Og-Bedingung. Der Wechsel der Muskelmasse resultierte aus der Änderung im Ladungsmuster der Muskelaktivität bei fehlender Gravitität. Die abgeänderten Werte bei der Fettverteilung wurden durch Diskrepanzen zwischen dem kalorischen Bedarf und der Nahrungsaufnahme hervorgerufen. Die Umverteilung des Körperwassers stellte die Adaptation des cardiovaskulären Systems an die schwerelose Umgebung her und belief sich auf ein Defizit von 1,5 - 2,o l.
Ein anderer Aspekt in der Raumfahrt mit neurologischer Auswirkung ist, daß mit der Größenzunahme der Raketen auch neuartige, hochenergetische Treibstoffe entwickelt wurden, die hohe biologische Aktivitäten besitzen und die bei einem Raumfahrtunfall die Astronauten mit ihrer Toxizität sehr ernstlich bedrohen können.
So ruft 1,1 Dimethylhydrazin klonisch-tonische Krämpfe hervor mit Tod durch Atemlähmung. Einigermaßen kann diese Wirkung durch Pyridoxin aufgehoben werden.
Eine deutliche Depression des ZNS, ferner katatone Erregungszustände, spontane Kontraktionen einzelner Muskeln und gelegentliche Krämpfe zeigen die Borane, die aber noch nicht im praktischen Einsatz sind. Im EEG findet man typische Veränderungen. Der Lei-

stungsabfall bei Affen läßt sich dadurch erklären, daß Dekaboran die für die Funktion des ZNS wichtigen Substanzen, nämlich die Catecholamine hemmt.

Da die Raumkapseln bei einem Druck zwischen o,35 und o,9 atm operieren, können möglicherweise die obersten Molekülschichten von Gebrauchsmaterialien verdampfen wie z.B. Farben, Kunststoffe und sogar Metalle. Andere Untersuchungen mit 1oo % Sauerstoff bei normalem Luftdruck (1 atm), sowie fallendem Druck bis o,82 atm ergaben eine Abnahme der Toxizität mit sinkendem Druck, wobei sich auch die Toxizität änderte.

Lungenreizstoffe sind in 1oo % Sauerstoff bei o,35 atm weniger toxisch als in der normalen Umgebungsluft. Es zeigte sich, daß eine Kombination von Sauerstoffdruck und reduziertem Gesamtdruck die osmotische Empfindlichkeit der roten Blutkörperchen beeinflußt.

Trotzdem sind noch weitere Untersuchungen auf diesem pharmakologischen Sektor vorzunehmen.

V. 2. Protokolle einiger Astronauten zur Verdeutlichung ihrer raumfahrerischen Situation

An dieser Stelle möchte ich noch einige Astronauten selber zu Wort kommen lassen, um ihre persönlichen Erfahrungen mitzuteilen. Aufgrund damaliger Skepsis, daß Menschen in dieser Umgebung und deren Bedingungen ein Raumschiff richtig steuern könnten und die Wissenschaftler daher der Automatisierung des Raumflugs eher den Vorzug gaben, seien nur ein paar Astronautenberichte gegenübergestellt, die per Handsteuerung sicher auf der Erde landeten.

So schrieb Glenn, dessen automatische Steuerung ausfiel, daß "man dem Menschen größere Aufgaben hinsichtlich der Steuerung von Raumschiffen übertragen kann, als es bisher geplant war. In vielerlei Hinsicht kann die sichere Rückkehr des Menschen von seinen aktiven Handlungen abhängen. Obwohl derartige Situationen beim Mercury-Projekt nicht vorgesehen waren, wurde der Astronaut doch niemals als passiver Passagier angesehen. Selbst dort,wo automatische Systeme nötig sind, kann die Zuverlässigkeit ihrer Arbeit durch die Anwesenheit des Menschen wesentlich erhöht werden. Der Flug von Friendship 7 stellt dafür ein gutes Beispiel dar. Die Raumkapsel hätte keine drei Runden mehr fliegen und auch nicht zur Erde zurückkehren können, wenn kein Mensch an Bord gewesen wäre."

Ebenfalls wurde Voskhod 2 sicher durch Kosmonaut Beljajew mittels Handsteuerung gelandet, obwohl eine automatische Fluglenkung eingebaut war. Denn als das automatische Orientierungssystem versagte, nahm dieser Raumfahrer die Steuerung selbst in die Hand und landete mit Erfolg.

Kosmonaut G.S. Titow meinte dazu: "Die mit der Handsteuerung erfolgte Landung von Woschod 2 ist in ihrer Art einzig. Sie wurde unter schwierigsten Bedingungen ausgeführt und zeigte, daß der Beruf des Kosmonauten kein "Mondspaziergang" zu seinem eigenen Vergnügen ist, sondern angespannte, verantwortungsvolle, qualifizierte Tätigkeit mit nicht geringem Risiko".

Lagefestlegung und Stabilisierung der Raumkapsel können sowohl automatisch als auch durch die Astronauten ausgeführt werden. Die Handsteuerung erweist sich im Gegensatz zur Flugzeuglenkung vom physiologischen Standpunkt aus als unterschiedlich, zumal auch die Raumkapsel eine beträchtliche Trägheit besitzt. Die erste

Handorientierung wurde bekanntlich von Kosmonaut Titov ausgeführt, die er so berichtet:
"Nach einer Stunde Flug, hingleitend durch die schwarze, tiefschwarze Nacht, schaltete ich, wie im Programm vorgesehen, die Handsteuerung des Raumschiffs ein. Ich muß gestehen, daß ich dies nicht ohne innere Erregung tat. War doch vor mir noch kein Mensch gezwungen gewesen, ein Raumschiff seinem Willen zu unterwerfen. Wird es den Bewegungen meiner Hände folgen? dachte ich und legte entschlossen die Hand auf das Steuerpult. Wostock 2 folgte meinem Willen. Das Lenken eines Raumschiffs erwies sich als leicht. Ich konnte es in jede gewünschte Lage einstellen."
Dabei müssen beständig eine Überprüfung und Korrekturen als erforderliche Maßnahmen auf die einwirkenden Signale ausgeführt werden.
Ebenfalls hohe professionelle Meisterschaft und große Ausdauer bewiesen die amerikanischen Astronauten Conrad, Kerwin und Weitz bei der Beseitigung von Störungen an der Raumstation Skylab. Vom Start weg bis zur zweiten Ankopplung mit der Raumstation schliefen diese Männer 27 Stunden nicht. Während dieser Zeit waren sie eminent überfordert beim Einschwenken des Apollo-Zubringerfahrzeugs auf die Umlaufbahn, führten komplizierte Manöver aus, gaben eine Auflistung der Schäden an der Station durch, vollzogen die erste Kopplung, entkoppelten wieder, entfalteten die Solarzellenfläche, legten die Raumanzüge an, beseitigten manuell Defekte in der Kopplungseinheit und koppelten erneut Apollo mit Skylab. Bezüglich der Schwerelosigkeit unter diesen Verhältnissen meinte Glenn, daß die ausgedehnte Schwerelosigkeit eine erheiternde Erfahrung gewesen sei und seine Leistungsfähigkeit als Pilot nicht im geringsten beeinträchtigt habe.

Nach einer 34-stündigen Erdumkreisung vollbrachte Cooper am Ende des 22. Umlaufs ein bestechendes, von Hand gelenktes Wiedereintrittsmanöver und zeigte damit eindrucksvoll, daß selbst nach dieser Zeit fehlenden Andrucks seine Leistungsfähigkeit und sein Präzisionsgefühl nicht ein bißchen gelitten hatten. Im Jahre 1965 blieben Bormann und Lovell für nicht weniger als 14 Tage in Gemini VII auf ihrer Umlaufbahn und kamen in gutem Zustand und bester Verfassung zurück.

Aus all dem Gesagten wird ersichtlich, daß trotz Automatik dem Menschen immer noch eine führende Rolle im Raumflug einzuräumen ist. Denn durch das Weitervordringen ins All muß der Astronaut aufgrund der sich dabei ergebenden Entfernungen und der zeitlichen Distanz in der Lage sein, alleinige Entscheidungen zu treffen. Für die Nachrichtenübermittlung muß z.B. für den Mond 5 Sekunden, aber schon für die Venus 5 Minuten Verzögerung in Rechnung gestellt werden, ohne dabei die Bearbeitungszeit zu berücksichtigen. Daraus folgt, daß der Mensch sich hinsichtlich geistiger Überlegenheit nicht mit programmierten Automaten vergleichen und durch sie ersetzen läßt.

Gleichfalls muß ich kurz auf die günstige Beeinflussung hinweisen, die mit der Musik bezüglich Astronauten in den USA und in der UdSSR erzielt wurde.

So bat Gagarin vor dem Start um gute Musik.

Die amerikanischen Astronauten W. Shirra und T. Stafford, die während ihres Fluges Mundharmonika spielten, "erhoben die Musik auf eine bis heute noch nie dagewesene Höhe". So lautete der Beschluß der amerikanischen Musikföderation.

Ich verweise hier deshalb auf die Musik, weil sie als Stimmungsbarometer die Psyche des Menschen beeinflußt, z.B. durch Erhö-

hung der Empfindlichkeit des peripheren Sehens und Veränderung des Muskeltonus, speziell durch die Einwirkung auf das Herz-Kreislaufsystem, die Verlangsamung des Pulses, eine Senkung des Blutdrucks und eine Erweiterung der Blutgefäße. Ebenso erleichtert sie die Ausführung einfacher, sich wiederholender Operationen und mindert die Unfallgefahr.

Also gewinnt die musikalische Betreuung bei längeren Raumflügen gegenwärtig große Bedeutung, genauso wie etwa Sauberkeit, richtige Beleuchtung etc. Dennoch muß der Musikrhythmus auf den Tagesrhythmus und den Rhythmus des Tätigkeitsprozesses abgestimmt werden, ohne daß dabei die Musik den Flugablauf stört.

Kurz noch ein Wort zu den psychischen Auswirkungen der Raumfahrt. Einige Auffälligkeiten in ihrer Persönlichkeit zeigten manche Astronauten nach der Rückkehr von ihren Weltraummissionen sowohl in den USA als auch in der UdSSR.

"Da draußen im Weltall geschieht etwas mit dir", meinte Astronaut E. Mitchell[172]. Oder R. Schweickhardt sagte: "Ich bin nicht mehr derselbe Mensch wie vorher, keiner von uns ist es." E. Aldrin erklärte: "Seit ich im Weltraum war, bin ich nur noch traurig." Russische Raumfahrtmediziner bekräftigen diese Feststellungen, denn bei ihren Schützlingen stellten sie Depressionen nach deren Rückkehr fest.

Diese psychischen Umwälzungen nahmen Formen an, wie etwa bei A. Worden von Apollo 15, der plötzlich lyrische Gedichte schrieb. J. Irwin betitelte sich plötzlich als "Mond-Missionar", da "ich auf dem Mond tief bewegt war von der Schönheit der Berge und fühlte die Anwesenheit Gottes", und wurde Laienprediger.

Aldrin schreibt in seinem Buch "Rückkehr zur Erde" einen "plötz-

lichen Verlust jeglichen größeren Zieles im Leben" und fährt weiter fort "versank ich in immer tiefere Verzweiflung. Ich kämpfte um meine Existenz. Sollte ich Selbstmord begehen?" Die psychiatrische Klärung dieser Phänomene steht noch aus, soweit es meine Literatur betrifft.

Im März 1978 kehrten G. Gretschko und J. Romanenko vom damaligen längsten Raumflug über 96 Tage und 1o Stunden zur Erde zurück. Ihr betreuender Arzt R. Djankonow berichtete danach[172]: "Beide sind sie nicht nur physisch und organisch noch in der Raumstation, sondern auch mit ihren Gedanken."

Hat also ein länger dauernder Raumaufenthalt nicht nur neurologische Auswirkungen auf die Raumfahrer, sondern auch psychische Veränderungen, die die Astronauten so grundlegend verändern lassen? Meiner Meinung nach ist diese Komponente im allgemeinen Weltraumrausch sehr stiefmütterlich behandelt worden und müßte daher jetzt besonders berücksichtigt werden, um diesen Entgleisungen bei dem Space Shuttle-Programm, d.h. dem beständigen Pendelverkehr zwischen Erde und Weltraum, von vorneherein wirksam begegnen zu können.

Astronaut Cooper beschreibt in seinem Artikel[174], daß er die Wärme der Sonnenstrahlen in seinem Raumanzug verspürte und durch seine Handschuhe Hitze auf der Fensterinnenseite bemerkte. Ebenso fiel auf dieser Mission der Sauerstoffpartialdruck auf 3,5 p.s.i.a. ab und der CO_2-Partialdruck im Raumanzugkreislauf stieg gleichmäßig auf 3,5 mm Hg an. Seine Atmung beschleunigte und vertiefte sich. Kurz vor dem Wiedereintritt zur Erde betrug der CO_2-Wert über 5 mm Hg. Sein Gefühl beim Zünden der Bremsraketen glich dem von W. Shirra, denn beide bemerkten keinerlei Bewegungsveränderung der Kapsel im Gegensatz zu J. Glenn, der eine Richtungsumkehr

registrierte, oder zu S. Carpenter, der das Gefühl eines Stillstandes hatte.
Zu dem Problem Schwerelosigkeit befragt, erklärten alle Astronauten, daß jene in einem Gefühl höchster Behaglichkeit beruhen würde, welches zum Schlafen anregt und etwas Schwierigkeiten bereitet, in Zeiten verringerter Aktivität oder geringer Anspannung vollwach zu bleiben.
Das größte Anpassungsproblem bestand sicherlich darin, sich wieder an die normale Schwerewirkung zu gewöhnen, besonders nach der Landung im Wasser durch das Schaukeln der Wellen.
Was die kosmische Strahlung anbetrifft[202], so zeigt sich, daß Leonow bei seinem Raumspaziergang eine geringere Dosis erhielt als Beljajew in der Kapsel. Als Erklärung dient der mögliche Aufbau einer Sekundärdosis innerhalb des Raumschiffs oder der vermutliche Aufenthalt von Kosmonaut Beljajew in einer weniger geschützten Abteilung des Allfahrzeugs.
Wie ersichtlich ist, haben Astronauten beider Nationen mit Schwierigkeiten jeglicher Art zu kämpfen, doch diese Widrigkeiten können durch menschliche-technische Überlegenheit gemeistert werden.

V. 3. Vergleich der Kenntnisse USA - UdSSR

Das Abkommen über die Zusammenarbeit zwischen den USA und der UdSSR bei der Erforschung und Nutzung des Weltraums zu friedlichen Zwecken erstreckt sich auf die kosmische Meteorologie, das Studium der Umwelt des erdnahen Raumes, des Mondes und anderer Planeten sowie auf die Raumfahrtbiologie und -medizin.
Im Mai 1972 unterzeichneten beide Regierungen ein Abkommen, dessen Inhalt das gemeinsame Arbeiten zur Schaffung kongruenter An-

näherungs- und Koppelungsmethoden für sowjetische und amerikanische bemannte Raumfahrzeuge vorsieht in der Absicht, die Flugsicherheit des Menschen im Kosmos zu erhöhen und weitere gemeinsame wissenschaftliche Versuche (vgl. das Sojus-Apollo-Programm) durchzuführen.

Dabei ist noch anzumerken, daß sich die Atmosphäre in der Sojuskapsel aus Stickstoff und Sauerstoff und in der Apollokapsel aus reinem Sauerstoff zusammensetzt.

In der UdSSR besteht auch die Hauptkonzeption in langzeitig nutzbaren Orbitalstationen mit austauschbaren Besatzungen, um die vielfältigen wissenschaftlichen Aufgaben lösen zu können.

Was die Eignungsauswahl anbetrifft, so erfolgt sie aufgrund ausgeklügelter Tests und der Astronaut muß bis zu seinem Einsatz eine lange Reihe Untersuchungen über sich ergehen lassen. Dies mag an Hand einiger Zahlen verdeutlicht werden.

Zur Eignungsprüfung der sechsten Gruppe von Astronauten der NASA wurden vorher 500 Kandidaten einbestellt. In die nächsthöhere Runde kamen aber nur 65 Anwärter. Letztendlich zählte der engere Kreis am Schluß nur 11, d.h. etwa 2 % des ursprünglichen Reservoirs. Im Vergleich dazu betrug der Grad der Siebung nach russischen Quellen insgesamt 3-4 %. Denn das Ukrainische Institut für Psychologie wandte dafür eine neue Auswahlmethode an. Dieses Verfahren beruht auf der Bestimmung des sogenannten "Koeffizienten des Lernfortschritts", d.h. die Fähigkeit des Menschen, in der Ausbildung Fortschritte zu machen.

Zu Beginn der Raumfahrt fiel auch die Wahl für Kosmonauten auf die Jagdflieger der jüngeren Jahrgänge. Denn sie sind in bester Gesundheit und unter ständiger, ärztlicher Kontrolle. Des weite-

ren ist diese Gruppe aufgrund ihres fliegerischen Ausbildungsstands und besonders wegen ihres schnellen Reaktionsvermögens eher prädestiniert, die Ausbildung hinsichtlich der Steuerung einer Raumkapsel, ihrer Systeme und der Simulatorenversuche besser und leichter zu verkraften, da sie schon Erfahrungen wie etwa technisches Gehör oder technisches Auge aus ihrer Sparte der Fliegerei mitbringen. Aber in Zukunft werden immer stärker Ingenieure, Wissenschaftler und Ärzte, also nichtfliegerisch vorbelastete Personen, in den Weltraum mitfliegen und dort arbeiten. Ebenso spielt nach Meinung einiger russischer Wissenschaftler[173] "nicht mehr so sehr das Alter eine Rolle, als vielmehr der physische Zustand und die tatsächliche berufliche Arbeitsfähigkeit betont werden müssen".

Das physische Training ist auch so zu wählen, daß bei langdauernden Belastungen der Mensch ausreichend Leistungsreserven zur Verfügung hat. Daher empfehlen die Ärzte für Flieger und Astronauten Turnen, Leichtathletische Ausbildung, Schwimmen, Früh- und Abendgymnastik. Bezüglich der Stabilität des Gleichgewichtapparats werden ganze Serien des passiven und aktiven Trainings durchgeführt, sowie Übungen auf dem Trampolin und mit dem Rhönrad, Kreisen des Kopfes, Sprünge mit Drehungen etc.

Besonders in der UdSSR angewandte Übungsgeräte und Übungen sind die Chilow-Schaukel, Drehungen auf dem Barany-Sessel, Wojatschek-Tests und Kumulationen von Coriolis-Beschleunigungen.

In den USA werden unteranderem die zukünftigen Astronauten an einem Gerät trainiert, das als "lufttragender Umlaufbahnkontroll-Simulator" bezeichnet wird, und an dem sie die reibungslose Bewegung der Kapsel mittels eines dreiachsigen Kontrollhebels in

der Senkrechten, der Waagrechten und in der seitwärtigen Drehbewegung zu kontrollieren erlernen.
Zur Ermittlung der menschlichen Disposition mit dem niedrigen barometrischen Druck oder mit dem Temperaturverlauf in großen Höhen, im Weltraum oder auf anderen Planeten werden die bekannten Unterdruck- und Thermounterdruckkammern sowie die Druckabfallkammern benützt. Gleichzeitig spielt auch das Hochgebirgstraining bezüglich Sauerstoffmangels eine Rolle.
Einflüsse der Arbeit und der Erholung, der außergewöhnliche Tag-Nachtrhythmus auf den Menschen, die Meisterung längerer Aufenthalte im künstlichen Kapselklima werden in Schweigekammern oder Schweigetürmen oder auch in Stratosphären-Schweigekammern untersucht.
Daß russische Kosmonauten erheblich höhere Strahlendosen auf ihren Raumflügen erhalten[202], hängt mit dem Neigungswinkel von 65° ihrer Raumfahrzeuge zusammen. Im Gegensatz dazu beträgt der Neigungswinkel amerikanischer Raumkapseln nur 33°.
Ich möchte noch einmal kurz das Problem der Bewegungskrankheit streifen, mit der die russischen Kosmonauten stärker zu kämpfen hatten als ihre amerikanischen Kollegen.
In der UdSSR wurden auf diese Schwierigkeiten hin selbst kleinste Merkmale in dieser Richtung registriert und signifikanter hingestellt, als sie den Tatsachen entsprachen. Dabei aber muß vermerkt werden, daß die während des Flugs von Vostok 3 und 4 abgeleiteten Elektrooculogramme keinerlei Asymmetrie oculomotorischer Reaktionen oder Nystagmus aufdeckten.
Darüberhinaus zeigten die vestibulometrischen Studien keine Veränderung in der Sensibilitätsschwelle der Otolithen bezüglich eines galvanischen Stroms bei den Kosmonauten von Vostok 1. An-

schließende Untersuchungen deckten keinerlei substantielle Veränderungen in der Funktion des Vestibularapparats auf.
Die Ereignisse von Gemini 8 hinsichtlich Bewegungskrankheit dienten Grose-Vernon[173] als Grundlage für seine Untersuchungen. Diese erstreckten sich auf die physiologischen Grenzen des Menschen und dessen Fehlerquote während verlängerter Rollbeschleunigung in einem Raumschiff. Auf der Basis der oculo-vestibulären Störungen arbeitete er 5 schädliche Einflußfaktoren heraus, die erheblichen Anteil an einer Nichtausführung von Aufgaben haben: Räumliche Disorientierung, Vertigo, visuelle Störungen, Nausea und Panik. Daraufhin empfahl Grose-Vernon eine strengere Auslese und verstärktes Training der Astronauten, desweiteren können nach seiner Meinung gewisse technische Modifikationen diese schädlichen Auswirkungen verringern.
Bei den Raumfahrtprogrammen diente das Mercuryprogramm nur zur Untersuchung kurzer Raumaufenthalte. Das Geminiprojekt ging schon detaillierter auf menschliche Systeme während der Allflüge ein. Das Apollounternehmen klärte die Fragen, die vor und nach einem Flug auftauchten, noch mehr in ihren Einzelheiten auf.
Besonders interessant war auch das Problem, ob sich der Mensch als Bewohner im All auf lange Sicht hin eignet.

Diskussion

Die Ausführungen zeigen, daß die Luft- und Raumfahrt, vorallem aber letztere besonders nachhaltige nervale Einflußmöglichkeiten auf die Astronauten nimmt, die nicht nur während des Raumflugs, sondern auch nach dessen Abschluß in individueller Ausprägung bei denselben zum Ausdruck kommen kann. Sehr deutlich treten diese Auswirkungen in mehr oder minder starker Reaktionsweise - zentral oder peripher - vonseiten des Zentralnervensystems unter extraterrestisch vorherrschender Schwerelosigkeit oder einem Vielfachen von G während eines Allflugs zu Tage.
Vorallem sind aufgrund der nervalen Beeinflussung aller körperlichen Systeme durch die abgewandelte neurogene Kontrolle des cerebralen Durchflusses zentral die hämodynamischen Dysfunktionen wie etwa Durchblutungsverminderung, cerebrales Displacement nebst zugehörigen Gefäßen, insbesondere histologische und funktionelle Schädigungen des Circulus Wilisii unter besonderer Berücksichtigung der zeitlichen Einwirkung von G und subarachnoidalen Hämorrhagien hervorzuheben (z.B. Moskalenko, Berkheiser), die sich in cerebral-corticalen Fehlleistungen zeigen und sich öfters als vermutet ereignen (Kidera). Daneben verdienen die Komplexität der luft- und raumfahrerischen Phänomene der Syncope (vgl. Klassifizierung nach Dermksian und Lamb) mit inadäquatem venösen Rückstrom zum Herzen, qualitativen und quantitativen Veränderungen in der Blutzirkulation und damit bedingten Störungen des ZNS als auch die Vertigo, hervorgerufen durch räumliche Desorientierung oder nicht vorhersehbaren pathologischen Prozessen (vgl. Brown), das Auftreten von Hypoxie und jede längerdauernde Bewußtlosigkeit verschiedenster Ätiologie besonderes Augenmerk. Unter diesen Bedingungen kommen bezüglich Flugunfähigkeit noch andere Störgrößen

wie etwa Hyperventilation, rasche Dekompression, tetanisches Syndrom (Oberholz), funktionelle Hypoglykämie (Raichle und King) neurologisch zur Geltung.
Peripher führen diese erwähnten Auswirkungen zu falschem Flugmanöver, verändertem Flugverhalten bzw. -unfähigkeit kurz vor der eintretenden Bewußtlosigkeit (vgl. Seipel und Wentz).
Neben ihrer Verquickung mit zentralnervösen Einflüßen sind die Sinneswahrnehmungen von Ohr, Auge, Nase und vorallem des Vestibularorgans unter der Einwirkung der Schwerelosigkeit für die Astronauten von eminenter Bedeutung. Gerade die zentrale Auswirkung in der Wahrnehmung der räumlichen Lage mittels des Gleichgewichtsapparats, ausgestattet mit den Bogengängen für Bewegungsempfindungen und den Otolithen als Gravitationsrezeptoren, hat in neurologisch bedingtem engen Zusammenspiel mit den optischen, statokinetischen, propriozeptiven, taktilen und interrezeptiven Reizanalysatoren nicht nur zu Beginn der Raumfahrt, sondern auch hin und wieder jetzt für erhebliche Schwierigkeiten bei russischen (vgl. Kosmonaut Titov), weniger aber bei amerikanischen Raumunternehmen gesorgt (Berry), welche in Bezug auf die Entstehung der Motion Sickness eine wesentliche Rolle spielen (Vgl. Krasnov, Baumgarten, Campell). Nicht nur die Größenzunahme der Raumkapseln mit ihren ausgiebigeren Bewegungsfreiheiten unter Og-Bedingungen, sondern auch die auftretenden ungewohnten Neigungs-, Roll- und anderen Abweichungsreize bei bestimmten Kopfhaltungen während des Flugs sind aufgrund der oben schon genannten visuell-vestibulären Kopplung, die bei Beschleunigung unterschiedlicher Größe und Zeitspanne neben oculogyralen Illusionen (Clark und Stewart) zu per- und postrotatorischen Nystagmus (Young, Jackson, Sears) und bei geringen und fehlenden Anhaltspunkten im All zu räumlicher Desorientierung

führt (Benson), aller Wahrscheinlichkeit nach auch für jene vestibulären Veränderungen bei Astronauten und Fliegern ebenfalls mitverantwortlich. Unter Schwerelosigkeit werden neben der Gewichtsabnahme der Otolithen eine Minderung ihres stimulierenden Einflusses und eine Anhebung der Reizschwelle vonseiten der Bogengänge beschrieben (Juganow). Trotz intensiven Trainings bei Astronauten und Piloten treten dabei peripher in geringer oder stärkerer Ausprägung gestörte Empfindungen für Oben und Unten, körperliche Täuschungen, Leichtigkeits- und Euphoriegefühle und vestibuläre Vertigo bei vielfältigen Begleitsymptomen (wie Magensensation, Übelkeit, Erbrechen) auf, die aber auf wiederholte sensorische Reizung zu vestibulärer Gewöhnung führt (Juganow, Baumgarten). Außerdem zeichnet sich ein Amplitudenabfall für Muskelaktionspotentiale ab (Gasenko). Obgleich Astronauten für längere Zeit der Schwerelosigkeit ausgesetzt sind, beweisen per Handsteuerung durchgeführte Lande- und andere Manöver, daß selbst während und nach der Zeit fehlenden Andrucks die Leistungsfähigkeit und das Präzisionsgefühl nicht ein bißchen gelitten haben. Daneben werden durch gewisse Labyrinthstörungen parallele Einschränkungen des Hörvermögens hervorgerufen. In Einklang mit Untersuchungen bei Vestibularreizungen finden sich bei Prüfung des Sehapparats bezüglich zentraler Auswirkungen Wahrnehmungsillusionen aus sehr großen Höhen (vgl. Bericht von Astronaut Cooper), wobei sich das Auflösungsvermögen des Auges dreimal verschlechtert und die Winkelausdehnung der angeblich gesehenen Dinge unter 1 Minute liegt. Daneben werden das Phänomen der Anisochronie, desweiteren nicht erklärbare subjektive Helligkeitsunterschiede bei Farben (Woschod 2-Unternehmen), ein starkes Absinken der optischen Arbeitsfähigkeit, eine Veränderung des Fi-

xationspunktes mit überschießendem Effekt registriert. Während des Raumflugs werden auch über eigenartige Lichtblitze berichtet, wie etwa von Apollo 14 (Tobias), die durch langsame Protonen und Heliumionen mit hoher Bremskraft (größer als 10^8 eV/gramm cm^2) und durch mit Neutronen und Heliumionen beladene Teilchen hervorgerufen werden. Auch Dekompression in großen Höhen (Sheffield und Davis , Experimente von Cooke) führt zu zeitlich begrenzter Blindheit, Desorientierung und kurzzeitigen neurologischen Ausfällen. Bei verzerrten oder verschwommenen Seheindrücken von Piloten oder Astronauten sollte auch an Drusen im Sehnerv, die manchmal trotz jahrelanger Kontrollen nie verifiziert werden, oder an eine idiopathische zentrale Retinopathie gedacht werden. Besonderes medizinisches Gewicht liegt bei diesen hohen Beschleunigungen bei dem Phänomen des Black-Out (Duane), d.h. Abnahme des arteriellen Hirndrucks oder Anstieg des intraoculären Drucks mit all seinen neurologischen Auswirkungen wie z.B. totalen Sehverlust, subarachnoidalen Hämorrhagien, und Ausfall cerebraler Anteile des Sehwegs vor den Anteilen der Netzhaut (Henry). Gleichzeitig wird peripher ein Hervortreten der Augäpfel, optische Beeinträchtigungen durch Versacken des Blutes aus dem Kopf in die Beine, der plötzlichen Gewichtszunahme des Blutes und bezüglich der cerebralen Minderdurchblutung die Relation cardiale-cerebrale Distanz bei diesen enormen Geschwindigkeiten beschrieben, die z.B. bei Wiedereintrittsmanövern von Raumkapseln entstehen (vgl. auch Raketen-betriebene Bremsversuche von Stapp). Außerdem treten eine Konturenverschiebung bzw. -verzerrung am Auge auf, die möglicherweise durch die verminderte divergierende Kraft der Augenmuskeln im schwerelosen Zustand erklärt wird. (Kitajew-Smyk). Eine große Unterstützung in Diagnose und Prognose fliegerischer Qualifikation bietet die Ophthalmodynamometrie, wie an Hand einiger Fälle gezeigt werden kann. (Hollenhorst, Jae-

ger, Diamond), die sich dabei in flüchtigen Syncopen, Aphasie und vorübergehenden Muskelparesen äußert.

Um den Astronauten ein Gefühl für ihre Sensomotorik und Koordination während der Schwerelosigkeit zu vermitteln, wird dieser Zustand kurzfristig auf einer ballistischen Flugbahn (nach Lebedew) produziert, mit dabei sich zentral und peripher auswirkenden Empfindungen wie Leichtigkeit, Euphorie, räumlicher Desorientierung, Bewegungsübelkeit und ein Amplitudenabfall der Muskelaktionspotentiale bis hin zu vereinzelten Ausfällen. Gerade die Feinkoordination unterliegt anfänglichen Veränderungen, wie Schriftproben beweisen. Sie erfährt aber mit der Dauer des Raumflugs eine Adaptation an diese Situation, welche sich auch von zu Beginn ungelenkig anmutenden Bewegungsabläufen in und außerhalb des Raumfahrzeugs behaupten läßt, wobei auch die auftretenden, aber korrigierbaren Reaktio-Kräfte zu berücksichtigen sind.

Nicht nur Allflüge, sondern auch die allgemeine Fliegerei bedeuten Belastungen für die Beteiligten, was sich etwa in der Messung des Fingertremors und des mittleren Blutdrucks bei gleichzeitiger Registrierung der Katecholaminausschüttung und der Herzbeschleunigung zeigen läßt. (Nicholson). Daneben können unter schwerelosen Gegebenheiten jedes Sinnesorgan, oder akustische, taktile, optische und weitere Einflüße eine Zeitauffassung vermitteln, wobei z.B. das Fallschirmspringertraining mit der Wiedergabe von Zeiteinheiten in freischwebendem und schwerelosem Zustand (vgl. Kolosow) nach Aussagen von Astronauten eine lehrreiche und positive Einrichtung darstellt.

Zu einer der stärksten Belastungen während des Raumflugs wird die kosmische Strahlung mit ihrer enormen Durchdringungskraft, ihrer Strahlenwechselwirkung in biologischen Systemen, ihrer möglichen

Verletzungen von Gehirn und Augengewebe, welche bisher nur an Versuchstieren (vgl. Apollo XVII) bei Allaufenthalten mikroskopisch nachgewiesen wurden, gezählt. Die erwähnten Verletzungen bestanden zentral und peripher in bilateralen Hämorrhagien in den Mittelohrräumen, einer Schichtdickenveränderung des Epithels aus der Olfactorius-Region, zahlreichen Fokalläsionen und in Auswirkungen auf das Neuroepithel des vomeronasalen Organs. Außerdem kristallisierte sich eine hohe Verletzungsquote des mesodermalen Gewebes (Schädeldach) bei niedriger Vulnerabilitätquote für ektodermales Gewebe (Meningen) heraus, wobei aber diese Resultate noch mit gewisser Vorsicht zu betrachten sind. Zu erwähnen ist, daß russische Kosmonauten aufgrund des Neigungswinkels von 65° ihrer Raumkapseln einer höheren Strahlenbelastung ausgesetzt sind als amerikanische Astronauten mit einem Neigungswinkel von 33°.

Besonders gefürchtet in großen Höhen ist die Dekompression mit all ihrer Symptomatik sowohl zentral in Form von Augenflimmern, Amnesie, Kopfschmerzen, Bewußtseinseinschränkung, Bewußtlosigkeit, Druckanstieg des Liquors, als auch peripher durch Gelenkbeschwerden, Krämpfe, Paresen, Beeinflußung des räumlichen Sehens, Abfall beim Farbsehen, rapide Abnahme der oberen Hörschwelle, Tremor, Puls- und Atmungsanstieg und auch zum Tode führenden Herz- und Kreislaufversagen, die sich alle in höhenabhängigen Stadien erfassen lassen. Diesen Beeinträchtigungen beugt ein schneller Abstieg unter völliger Ruhebewahrung vor, denn die Zeitreserve bis zum Eintritt von Bewußtlosigkeit wird durch körperliche Aktivität seitens des Piloten verkürzt und ist von der jeweiligen Flughöhe abhängig. Untersuchungen an Affen ergaben bei Drucksturz ausgedehnte neokortikale Zerstörungen, vorallem an den Grenzzonen cerebraler Hauptarterien,

die in ihrem äußeren Verhalten an decortizierte Tiere erinnerten, d.h. bei Strecken von unteren Extremitäten, Beugen oberer Gliedmaßen oder in Rücklage Beugestellung von Armen und Beinen. Mikroskopisch fanden sich Verlust an Neuronen in allen Schichten bei gliomesodermaler Reaktion und geringer Gliosis, im Hippocampus eine Totalnekrose des Sommer-Sektors ebenso bei den Thalami, bei normalen subthalamischen Bezirken, als auch ein Pyramidenzellverlust im Nucleus caudatus und Putamen und geringen Mangel an Purkinjezellen im Cerebellum mit Ausnahme der Nuklei dentati. Wahrscheinlich ist unter diesen Umständen die weiße Hirnsubstanz mit ihrem größeren Lipidgehalt, ihrem geringen Vaskularisationsgrad und ihrer geringen Empfindlichkeit für Sauerstoffmangel der übliche Sitz für Verletzungen durch freigesetzte Stickstoffbläschen (Liske). Die Einwirkung von hyperbarem Sauerstoff ergab keine oculären und cerebralen Schädigungen, nur geringfügige Veränderungen bei 9o % O2 und 76o mmHg Luftdruck, während 425 mmHg Sauerstoffpartialdruck unter hochdosierter Sauerstoffzufuhr oder 1oo % O2 die Grenzen für mögliche toxische Beeinträchtigungen liegen (Harel).

Von besonderem Interesse ist in der Luft- und Raumfahrt der Wechsel von Wach- und Schlafzustand und die Anpassung an den Tagesrhythmus, wie schon gewisse neurogene-neurovegetative Folgeerscheinungen im internationalen Flugverkehr beweisen. Neben der Phasenverschiebung werden zentral Auswirkungen auf die Körpertemperatur mit ihrer Einflußnahme auf hypothalamische, endokrine und autonome Aktivitäten, den O2-Verbrauch, auf die adrenocorticale Ausschüttung und vorallem auf die Störungen in den einzelnen Schlafstadien, hauptsächlich des REM-Schlafs bei Zeitzonensprüngen verzeichnet (Klein).

Dabei zeigt der Schlafrhythmus gehäuften Wechsel von Schlafstadien, verbreiteter REM-Latenz und Herabsetzung von Tief- und Traumschlaf und mehrfachen Phasen des Wachseins. Peripher werden psychomotorische Veränderungen und nervöse Beschwerden wie Lid- und Fingertremor registriert. Aufgrund der Skylabunternehmen wurden frühere Schlafprobleme auf die eingeschränkte Lebensweise, die auftretende Monotonie und das verkleinerte Betätigungsfeld in den vorangegangenen Raummodellen und nicht auf die Og-Umgebung an sich zurückgeführt. Denn die Astronauten bekunden während regelmäßig festgelegten 8 Stunden Ruhepausen im All ein adäquates Schlafverhalten.

Auf seinen Raumflügen unterliegt der Astronaut dem Zustand der Schwerelosigkeit, der wie schon an anderer Stelle erwähnt, neben starker Einflußnahme auf andere Körperfunktionen (z.B. Vestibularsystem) auch einige Probleme bei der Verrichtung von Arbeiten in und außerhalb der Raumkapsel, zum Teil eingezwängt in den Raumanzug, mit sich bringt (Berry). Auf biochemischer Ebene ergaben Untersuchungen bezüglich zentraler Wirkweise einen aufschlußreichen Einblick in verschiedene Vestibularreaktionen, sei es mittels LDH- oder CRK-Messung in Riesenneuronen (Krasnow), sei es die Reduzierung des Protein- und RNA-Gehalts in spinalen Motoneuronen und Neuronen der Spinalganglien bei fehlender RNA-Erniedrigung in den Motoneuronen, welche als Anpassung an herabgesetzte motorische Funktionen unter terrestischen Bedingungen zu einem Impuls-, Protein- und RNA-Anstieg aufgrund einer metabolischen Differenzierung in Afferenzen und Efferenzen angesehen werden kann (Gorbunova und Portugalov). Daneben treten Veränderungen auf im Hormonhaushalt wie etwa verstärkte Funktionsabläufe im hypothalamisch-

pituizytären Neurosekretionssystems (z.B. Einwirkung von Stressfaktoren) mit Massenzunahme von Nuclei und Neurozyten, verringertem Färbeindex basophiler Substanzen etc. und erhöhte ADH-Ausschüttung bei fehlender renaler Antidiurese (Savina). Auf peripherem Gebiet sind vorallem Auswirkungen im Hormonhaushalt und des Blutsystems zu verzeichnen, wie etwa ein Plasmathyroxin- und TSH-Anstieg bei Apollo- und Skylabunternehmen und ein Abfall von T3 bei steigendem Cortisolspiegel (Leach). Bezüglich des Energiestoffwechsels menschlicher Erythrozyten wird eine Verringerung an Erythrozytenmasse, mittleren Erythrozytenvolumen und Hämoglobinabfall unklarer Ätiologie registriert. (Ushakov). Außerdem tritt ein geringer, aber signifikanter Muskelgewebeverlust aufgrund der Änderung im Ladungsmuster der Muskelaktivität bei fehlender Gravitation auf (Gasenko). Von gleichfalls großer Wichtigkeit ist der Calciumverlust des Skelettsystems unter der Schwerelosigkeit, weshalb schon jetzt in zwar kleinem Umfang an künstlicher Schwerkraft im All gearbeitet wird. Denn anhaltende Schwerelosigkeit ist mit langer Bettlägerigkeit und deren Komplikationen vergleichbar (z.B. Schwund der antigravitationsmuskeln bei gleichzeitiger reversiblen Streckung des Körpers um 3-5 cm), der aber auch durch spezielle Fitnessprogramme oder belastbare Raumanzüge entgegengewirkt werden kann.

Nach der Landung fällt immer wieder auf, daß die Readaptation der Astronauten an irdische Schwerkraft noch mit einigen Problemen verbunden ist, aber meistens nach 3 Wochen Anpassungszeit auf der Erde haben alle Meßwerte ihre früheren Ausgangsergebnisse erreicht. Zentral machen sich gewisse cardiovaskuläre Reaktionen bemerkbar, so etwa in cerebraler Blutleere im Stehen, Schwindelanfälle und sogar

Kollaps. Ebenfalls wird eine aktive Anpassungsreaktion des hypothalamisch-pituizytären Neurosekretionssystems unter irdischen Gegebenheiten verzeichnet, die möglicherweise auf eine Kompensationsreaktion und eine Stabilisation der Elektrolythomöostase hinweist. Peripher können die schon oben erwähnten Veränderungen im Hormonhaushalt und Elektrolytstoffwechsel nach der Rückkehr an der Diureseabnahme, der verminderten Elektrolytausschüttung, der verstärkten antidiuretischen Wirkung im Blut und an der meßbar einsetzenden Regeneration von Muskelgewebe (Gasenko) abgelesen werden.
Auf psychischem Gebiet fallen öfters Veränderungen in Form von Depressionen und zum Teil länger anhaltenden Persönlichkeitsveränderungen auf (Mitchell, Schweickhardt). An dieser Stelle sei auch die beruhigende Wirkung von Musik auf das cardio-vaskuläre System bei Astronauten erwähnt. Auch werden mit der Einrichtung von Raumlabors neue Fragen aufgeworfen, da eine Anzahl flugunerfahrener Leute dort tätig sein wird. Darüberhinaus ist noch ein weiterer Aspekt von Interesse: Wie werden Frauen auf längerfristige Tätigkeit im Weltraum reagieren, da sie schon jetzt als Nutzlastexpertinnen im Space Shuttle Programm fest eingeplant sind. Es sei hier auf die Arbeiten von Cameron verwiesen (reversible Beeinflußung des Menstruationszyklus, keine Anzeichen für Fehlgeburten und Infertilität). Zur Beurteilung neurologischer Vorgänge unter Raumfahrtbedingungen werden spezifische Testmethoden in der Vorbereitungsphase zum Allflug herangezogen, so etwa der Dechertest zur Reizung der horizontalen Bogengänge, die kalorische Vestibularuntersuchung nach Hallpike, die Frenzelbrille zum Ausschluß eines spontanen Nystagmus und der spezielle Koordinationstest (Quantitative Ataxia Test Battery), um nur einige aus der Fülle zu nennen, um die Astronauten auf ihre künftige Aufgabe vorzubereiten. Daneben verdient es der Space Si-

mulator, als Vermittler für das auftretende Gefühl von hohen Beschleunigungen und des daraus resultierenden Andrucks bei Raketenstarts oder Wiedereintrittsmanövern in die Erdatmosphäre erwähnt zu werden. Außerdem stellt die Anwendung des Elektroencephalogramms (EEG) in der Luft- und Raumfahrt eine wertvolle Screeningmethode dar bezüglich der Diagnose mancher Krankheiten des zentralen Nervensystems, vorallem der Epilepsie, der Ausdehnung intracranieller Verletzungen oder bei Auswertung von Einflüssen des Luft- und Weltraums (z.B. Hypoxie und +Gz-Beschleunigung), die unter Erdbedingungen unentdeckt blieben, aber ganz besonders als klinisches Hilfsmittel und Forschungsmethode bei der Auswahl von Fliegern und Astronauten hinsichtlich ihrer Tauglichkeit und Eignung. (Thorner und Gibbs, Sem-Jacobsen, Aschoff, Richter, Lavernhe, Bennett).

Gleichfalls aufgrund der steigenden Kompliziertheit der Technik, die dem Astronauten eine Vergrößerung seines Leistungsumfangs bei gleichzeitig teilweisem Verlust an maschineller Effektivität verleiht, beschritt die Forschung den Weg, eine sinnvolle und effektivere Synthese Astronaut-automatische Systeme herzustellen. Sicherlich werden auch durch die flugtechnische Entwicklung mit wachsender Machzahl, stets verknüpft mit dem limitierenden Faktor der Beschleunigungstoleranz bei dem Piloten oder Astronauten, und dem erweiterten Aktionsradius von Luft- und Raumfahrzeugen neuerlich neurologische Probleme aufgeworfen, die es dann zu lösen gilt.

Zum Schluß sei angemerkt, daß im Gegensatz zu manchen Autoren die Raumfahrer trotzdem mit einigen Schwierigkeiten in Zukunft zu rechnen haben, die sich zwar nicht auf ausrüstungstechnischem Gebiet, sondern möglicherweise in der neurologischen und physischen Verfassung derselben bemerkbar machen wird.

Zusammenfassung

Mit der rasanten Entwicklung der Raumfahrt trat in vermehrtem Maße die medizinische Komponente derselben stärker in den Vordergrund, da vorallem in den letzten Jahren USA und UdSSR forciert bemannte Allunternehmen konzipierten, erfolgreich durchführten und weiterhin betreiben werden. (vgl. Sojus-Saljut bzw. Space-Shuttle Programme).

Neben der neurologischen Beeinflußung aller körperlichen Systeme sind vorallem die auftretenden zentralen Dysfunktionen, bedingt durch veränderte cerebrale Hämodynamik und ihrer Auswirkungen unter abgewandelten G, desweiteren die Phänomene der Synkope als auch der Vertigo mit ihren peripheren Folgeerscheinungen wie verändertes Flugverhalten, falsche Flugmanöver zu benennen. Desweiteren können zentral wirkende Beeinträchtigungen in der Wahrnehmung der räumlichen Lage, z.B. Motion Sickness (vgl. russische Raumunternehmen), vestibuläre Vertigo, per- und postrotatorischer Nystagmus angeführt werden, die sich peripher in Magensensation, Übelkeit und Amplitudenabfall der Muskelaktionspotentiale etc. äußern. Black-Out, Lichtblitze durch beladene Teilchen, Wahrnehmungsillusionen, Anisochronie finden sich als zentrale oculäre Wirkungen mit peripherem Hervortreten der Augäpfel, verminderter Divergenz der Augenmuskeln und der hämodynamisch veränderten Wirkweise bezüglich der Relation cardio-cerebraler Distanz. Neben der kosmischen Strahlenbelastung mit z.B. ihrer enormen Durchdringungskraft, Verletzungen von Gehirn und Augengewebe bei Versuchstieren stellt die Dekompression mit zentralen Zerstörungen im Neokortex (Hippocampus, Thalami etc.), Druckanstieg des Liquors, Krämpfen, Amnesie und Gelenkbeschwerden, cardio-vaskulären Veränderungen, Paresen in der Peripherie eine der stärksten Belastungen

dar. Wie schon in der Luftfahrt bekannt, so treten auch Folgeerscheinungen im Wechsel von Schlaf- und Wachzuständen auf, die sich zentral in Änderungen der Körpertemperatur, des O2-Verbrauchs, vorallem in Störungen des REM-Schlafs und abgewandelter adrenocortikaler Ausschüttung und peripher durch psychomotorische Auswirkung und nervöse Beschwerden kundtun.
Neben starker Einflußnahme auf andere Körperfunktionen (Vestibularsystem) ist die Einwirkung der Schwerelosigkeit zentral auf verstärkte Funktionsabläufe im hypothalamisch-pituizytären Neurosekretionssystem und die Reduzierung des Protein- und RNA-Gehalts in spinalen Motoneuronen und Neuronen der Spinalganglien bei fehlender RNA-Erniedrigung in den Motoneuronen zu erwähnen. Peripher sind vorallem Auswirkung im Hormonhaushalt (Plasmathyroxin- und TSH-Anstieg, T3- und Calciumabfall), im Blutsystem (Verringerung des mittleren Erythrozytenvolumens, der Erythrozytenmasse und des Hämoglobins) und ein signifikanter Muskelgewebeschwund zu verzeichnen. Ebenfalls eine zentrale Reaktion des hypothalamisch-pituizytären Neurosekretionssystems nebst cardiovaskulären Reaktionen (Kollaps, Schwindelanfälle, cerebrale Blutleere im Stehen) läßt sich bei der zeitlich begrenzten Readaptation nach der Landung feststellen, die sich peripher in Diureseabnahme und Antidiuresezunahme, verminderter Elektrolytausschüttung und meßbarer Regeneration von Muskelgewebe auszeichnet. Darüber hinaus fallen auch auf psychischem Gebiet Depressionen und zum Teil länger anhaltende Persönlichkeitsveränderungen bei Astronauten auf.
Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß neben keinen gravierenden Symptomen nur geringfügige neurologische Beeinträchtigungen zu verzeichnen waren. Wenn sich aber neurologische Störungen einge-

stellt hatten, so waren sie stets reversibel und nie von bleibender Dauer. Daher braucht von neurologischer Seite nicht mit ernsthaften Schwierigkeiten bzw. Störungen trotz anfänglicher Anpassungswidrigkeiten bei Raumunternehmungen gerechnet zu werden.

Meilensteine auf dem Weg zum Weltraum

Gegen Ende des 19. Jahrhunderts begann der Mensch mit wissenschaftlichem Ernst an einen Vorstoß ins Weltall zu denken und Raumschiffe zu entwerfen, die von feuerspeienden Raketen angetrieben werden. Aber noch zwei Drittel eines Jahrhunderts sollten über theoretischen, experimentellen, technischen und industriellen Vorbereitungen vergehen, bis 1957 der erste künstliche Satellit aufstieg. Auf diesen Seiten werden einige historische Daten aus der Frühgeschichte der Raumfahrt verzeichnet.

1891 – Hermann Ganswindt aus Berlin entwirft das erste mit Feststoffraketen getriebene Raumschiff.

1900 – Román Baron von Gostkowski veröffentlicht in der Wiener Zeitschrift *Die Zeit* eine der frühesten wissenschaftlichen Diskussionen über Raumfahrt.

1903 – Der Russe Konstantin Ziolkowski veröffentlicht seine Abhandlung über Treibstoffe und Leistung von Raketenmotoren. Er empfiehlt Flüssigwasserstoff und Flüssigsauerstoff als Raketentreibstoff.

1919 – In Amerika veröffentlicht Robert Hutchings Goddard einen Bericht von 69 Seiten über seine Forschungen unter dem Titel *Eine Methode, extreme Höhen zu erreichen.*

1923 – Hermann Oberth gibt in seinem Werk *Die Rakete zu den Planetenräumen* eine theoretische Grundlegung der Raumfahrt.

1925 – Walter Hohmann aus Essen veröffentlicht in seinem Buch *Die Erreichbarkeit der Himmelskörper* seine Kalkulation der für interplanetare Flüge günstigsten Flugbahnen.

1926 – Goddard gelingt in Massachusetts der erfolgreiche Start der von ihm erbauten ersten Flüssigkeitsrakete der Welt.

1927 – In Deutschland wird der *Verein für Raumschiffahrt e. V.* gegründet. Es ist die erste aktive Gruppe dieser Art.

1928 – In Österreich tritt Baron Guido von Pirquet mit dem Vorschlag von drei die Erde umkreisenden Raumstationen hervor, zu denen sein Landsmann Hermann Noordung die Konstruktionspläne liefert. Franz A. von Ulinski veröffentlicht den Entwurf eines Raumfahrzeugs mit einem fortschrittlichen elektrischen Antriebssystem.

1928 – In Frankreich veröffentlicht Robert Esnault-Pelterie seine Vorträge über die Erforschung der oberen Atmosphäre mit Hilfe von Raketen sowie die Möglichkeit interplanetarer Flüge.

1929 – Oberth veröffentlicht *Wege zur Raumschiffahrt*, das noch immer als bedeutendes theoretisches Werk über diesen Gegenstand bezeichnet wird.

1929 – In Rußland entstehen Arbeitsgemeinschaften für Raumfahrtforschung.

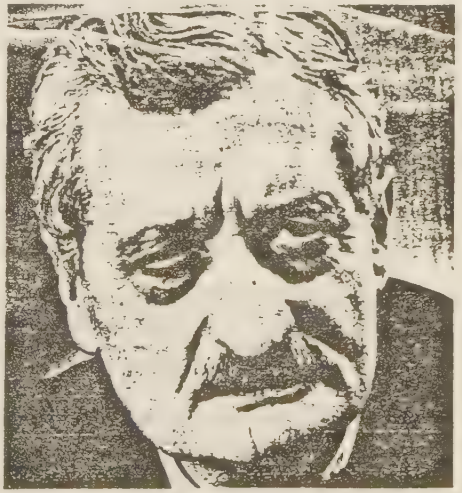
1930 – Die American Interplanetary Society wird gegründet. Sie nennt sich später American Rocket Society und nochmals später American Institute of Aeronautics and Astronautics.

1930 – Oberths Kegeldüse, theoretisch die ideale Brennkammer für den Raketenmotor, wird unter Verwendung von Flüssigsauerstoff und Benzin auf einem Teststand gezündet.

1932 – In Deutschland beginnt eine von der Regierung systematisch geförderte Raketenforschung unter Walter Dornberger und Wernher von Braun.

KONSTANTIN ZIOLKOWSKI

Dieser russische Schullehrer und Autodidakt wurde durch seine theoretischen Arbeiten der Vater der Astronautik. Er demonstrierte, warum der Vorstoß in den Weltraum nur mit Raketen möglich ist, und erkannte bereits, daß der wirksamste Antrieb mit Treibstoffen und mehrstufigen Fahrzeugen erreicht wird



HERMANN OBERTH

Fachkreise wie Amateure, die an den technischen Problemen der frühen Entwicklungszeit arbeiteten, wurden stark angeregt durch Oberths Schrift „Die Rakete zu den Planetenräumen" (1923). Im 2. Weltkrieg wirkte Oberth am deutschen Raketenprogramm mit, 1955 kam er zum Redstone Arsenal

aus Clarke, A.C. : Mensch und Weltraum

1933 – Eugen Sänger veröffentlicht seine grundlegenden Forschungen über Raketenmotoren unter dem Titel *Neue Ergebnisse der Raketenflugtechnik*.

1934 – In Deutschland startet die Arbeitsgruppe unter von Braun und Dornberger die ersten Modelle einer neuen Raketenserie, die Aggregate 2 oder A-7, die Vorläufer der A-4, die später V-2 genannt wurde.

1936 – Das Guggenheim Aeronautical Laboratory des California Institute of Technology beginnt unter der Leitung von Theodore von Kármán mit der Entwicklung von Höhenforschungsraketen.

1942 – Der erste erfolgreiche Flug einer deutschen V-2 erstellt einen neuen Geschwindigkeitsrekord (Mach 5) und Höhenrekord (85 km).

1944 – Caltech erhält die Genehmigung zur Höhenforschung und startet im folgenden Jahr seine erste Rakete, eine Private A.

1944 – Die ersten deutschen V-2-Raketen werden auf Paris und London abgefeuert.

1945 – Der erste bemannte und vertikal gestartete Raketenflug wird in Deutschland mit einem Bachem-Natter-Raketenflugzeug durchgeführt. Der Testpilot, Leutnant Siebert, kommt dabei ums Leben.

1945 – Der amerikanische Kriegsminister billigt die Einrichtung des Versuchsgeländes von White Sands.

1945 – Die Caltech-Gruppe startet eine WAC-Corporal-Flüssigkeitsrakete.

1946 – In White Sands wird erstmals eine erbeutete V-2 zur Höhenforschung gestartet.

1946 – Das U. S. Air Force Missile Development Center der Holloman Air Force Base beginnt mit biologischen Experimenten, die der Vorbereitung bemannter Raumflüge dienen. Ein Ballon steigt mit Pilzsporen auf, die kosmischer Strahlung ausgesetzt werden.

1947 – Das Bell-XS-1-Raketenversuchsflugzeug übertrifft die Schallgeschwindigkeit.

1948 – Der neunpfündige Rhesusaffe Albert wird in White Sands in der Nase einer V-2-Rakete gestartet.

1948 – In einem Bericht zum Jahresende gibt der amerikanische Verteidigungsminister James Forrestal ein staatliches Forschungsprogramm zur Errichtung künstlicher Satelliten bekannt.

1949 – Eine zweistufige amerikanische Höhensonde (V-2 plus WAC Corporal) erzielt einen Höhenrekord von 400 km.

1949 – Die Viking, die erste amerikanische Großrakete, wird in White Sands gestartet.

1950 – Der erste Internationale Astronautische Kongreß tritt in Paris zusammen.

1951 – Während des zweiten Internationalen Astronautischen Kongresses in London wird die Internationale Astronautische Föderation (IAF) gegründet.

1951 – Ein Affe und elf Mäuse erreichen in einer Aerobee-Rakete 41 km Höhe.

1954 – Die USA entscheiden sich für die Entwicklung der Atlas-Interkontinentalrakete.

1955 – Präsident Eisenhower gibt das amerikanische Satellitenprogramm für das Internationale Geophysikalische Jahr bekannt.

1956 – Eine amerikanische Jupiter-C-Rakete befördert eine Nutzlast 5300 km weit und erreicht dabei eine Höhe von 1100 km.

1956 – Der Leiter der Luftfahrtmedizinischen Forschung in Rußland berichtet über Versuche, bei denen Hunde in Höhensonden aufstiegen.

1956 – Das amerikanische Satellitenprogramm startet eine Viking-Rakete, um erstmals deren fernmeldetechnische Ausrüstung zu testen.

1957 – Im Juni mißglückt der erste Start einer amerikanischen Atlas Interkontinentalrakete.

1957 – Der russische Ministerpräsident Chruschtschow gibt im August den erfolgreichen Flug einer Interkontinentalrakete über die Distanz von 6000 km bekannt.

1957 – Die UdSSR starten am 4. Oktober Sputnik I, den ersten künstlichen Satelliten der Welt.

THEODORE VON KARMAN

Man nannte diesen aus Ungarn gebürtigen Aeronautiker ein „Genie unter den Genies". Bedeutende Fortschritte in der Entwicklung superschneller Flugzeuge und Raketen sind diesem großen Theoretiker, praktischen Wissenschaftler und industriellen Organisator, der 1930 in die USA kam, zu danken.

WERNHER VON BRAUN

Im Alter von 20 Jahren war von Braun der erste Zivilangestellte der deutschen militärischen Raketenforschung. Mit 25 war er der technische Leiter des gesamten Entwicklungsprogramms, aus dem die V-2 hervorging. Nach der Gefangennahme durch die Amerikaner ging er in die Vereinigten Staaten

1958	Juli	Unterzeichnung der National Aeronautics and Space Act; Gründung der NASA
	Oktober	Beginn des Mercury-Programms
	November	Space Task Group nun in Langley Field, Va.,zur Verwirklichung des bemannten Satellitenprogramms, bekannter unter der Bezeichnung "Mercury"
1959	April	Musterung der ersten Astronautengruppe für das bemannte Raumfahrtprogramm
	Dezember	Billigung des Saturnkonzepts und des Entwicklungsprogramms
	Dezember	LJ-2 Mission mit einem Primaten an Bord, um z.B. die physiologischen und psychologischen Auswirkungen von Beschleunigung und Schwerelosigkeit auf einen Primaten (Rhesusaffen) zu untersuchen
1960	Januar	LJ-1B Mission mit einem Primaten an Bord, um unter anderem die Auswirkungen von simulierten Beschleunigungen auf den weiblichen Rhesusaffen zu testen
	Februar	Gutheißen des Projekts Ranger für harte Mondlandungen
	Mai	Beginn des Programms für weiche Mondlandungen, später in Surveyor umbenannt
	Juli	Billigung der Bezeichnung Apollo für das weiterentwickelte bemannte Raumfahrtprogramm
1961	Januar	MR-2 Mission mit einem Primaten an Bord. um z.B. Daten über Physiologie und Leistung eines Prima-

ten während eines Raumflugs auf einer ballistischen Kurve zu erhalten

April Erster Flug eines Menschen im Weltraum - Kosmonaut J. Gagarin umrundet in Wostok I einmal die Erde

Mai MR-3 Erster amerikanischer bemannter Raumflug durch Astronaut Alan B. Shepard mit der Mercurykapsel Freedom 7

Ziel: -Gewöhnung des Astronauten an das kurzzeitige, aber umfassende Erlebnis des Raumflugs einschließlich Start, beschleunigtem Flug, dem Zustand der Schwerelosigkeit (für fast 5 Minuten), Wiedereintritt und Landung

-Auswertung der menschlichen Fähigkeit bezüglich folgender Leistungen:

a) manuelle Kontrolle der Lage des Raumfahrzeugs

b) Benutzung des Sprechfunks während des Flugs

-Studien über die menschlichen physiologischen Reaktionen während des Flugs

-Bergung von Astronaut und Raumkapsel

Mai Präsident Kennedy schlägt in einer Sonderbotschaft dem Kongreß ein ausgeweitetes und verstärktes Raumfahrtprogramm vor einschließlich der bemannten Mondlandung innerhalb einer Dekade

1961 Juni MR-4: Astronaut Grissom auf seinem Raumflug

Ziel: vgl. MR-3

-inclusiv Benutzung von Fenster in der Kapsel und des Periskops für Lagebestimmung und für Erkennen von Kontrollpunkten auf der Erde

August Wahl von Cape Canaverel als Startplatz der bemannten Mondflüge

August Wostok II: Flug des Kosmonauten G. Titow (17 Erdumkreisungen)

November Umbenennung der Space Task Group in Manned Spacecraft Center

November MA-5 bemannt mit Primaten

Ziel z.B. Aufzeigen der Leistungsfähigkeit des Environmental Control System durch Betätigung von seiten eines Primaten

1962 Februar MA-6: Erster orbitaler bemannter Raumflug durch Astronaut John H. Glenn mit der Mercurykapsel Friendship 7

Ziel: -Aufzeigen der Leistungsfähigkeit des Systems Mensch-Raumkapsel während 3 Erdumkreisungen

-Auswirkungen des Raumflugs auf den Astronaut

-Überprüfen der Eignung von Astronauten, von Raumkapsel und Trägersystemen für bemannte Raumflüge

1962	Mai	MA-7: Astronaut Scott Carpenter mit Mercury-kapsel Aurora 7 im Weltraum Ziel: vgl. MA-6
	August	Wostok III: Kosmonaut A. Nikolajew Wostok IV: Kosmonaut P. Popowitsch Gemeinsamer Doppelflug in 5 km Entfernung voneinander
	Oktober	MA-8: Astronaut W. Schirra mit Sigma 7 Ziel: -Vergleich raumfahrerischer Auswirkungen zu früheren Missionen und Simulationsversuchen während des Ausbildungsprogramms
1963	Mai	MA-9: Erster längerdauernder Raumflug von Astronaut L. Gordon Cooper mit Faith 7 Ziel: -Auswirkungen eines fast eintägigen Raumaufenthalts auf Astronauten -Betätigen der Bedienungselemente für diesen Zeitraum durch Astronauten Letzter Flug im Mercury-Programm
	Juni	Wostok V: Kosmonaut W. Bykowskij Wostok VI: Kosmonaut W. Tereschkowa, Erste weibliche Astronautin - Gemeinsamer Doppelflug in 5 km Entfernung voneinander
	August	Billigung des Lunar Orbiter Programms in Abstimmung mit dem Ranger- und Surveyorprogramm
1964	Mai	Erster Flug einer Apollorakete mit einer Saturnrakete (2-stufige Saturn I) von Cape Kennedy; Obere Stufe in Umlaufbahn gebracht

1964	Juli	Klare Fernsehbilder der Mondoberfläche durch Ranger VII
	Oktober	Woschod I. Kosmonauten W. Komarow, K. Feoktistow und B. Jegorow (erste Drei-Mann-Raumkapsel)
1965		Planung der Apollo Extension Systems innerhalb der NASA Ziel: -Einrichtung eines künftigen Aufenthaltsraums für Astronauten in der Erdumlaufbahn Bildung eines Büro Apollo Applications Program
	März	Gemini III: Erster bemannter Raumflug mit den Astronauten V.J.Grissom und J.W.Young
	März	Woschod II: Kosmonaut A.Leonow und P. Beljajew Erster Ausstieg aus der Raumkapsel für 1o Minuten durch Kosmonaut Leonow
	Juni	Gemini IV: Erstmalige Betätigung außerhalb der Raumkapsel durch Astronaut E.H. White, der zusammen mit J.A. McDevitt flog
	August	Gemini V: Astronauten Cooper und Conrad
	Dezember	Gemini VI - Gemini VII: Erstes bemanntes Rendezvous im All der Astronauten Schirra und Stafford von Gemini VI mit den Astronauten Borman und Lovell von Gemini VII
1966	Februar	Erster Start der Saturn IB (2 Stufen) mit einem Apollo Raumfahrzeug Luna 9: weiche Mondlandung

1966	März	Gemini VIII: Erstes Ankoppeln im All an die Agena-Raketenstufe durch die Astronauten N.A. Armstrong und D.R. Scott während des Gemini-VIII-Flugs Abbruch des Unternehmens wegen unkontrollierter Roll- und Gierbewegungen (defekte Steuerkorrekturdüse der Raumkapsel) und Notlandung
	April	Luna 1o umkreist Mond
	Juni	Surveyor I: Im ersten Versuch erfolgreiche weiche Landung von Surveyor I auf der Mondoberfläche und Übermittlung der Bodenbeschaffenheit und der Oberflächentemperatur
	Juni	Gemini IX: Astronauten Stafford und Cernan Ausstieg von Cernan für 2 Stunden
	Juli	Gemini X: Astronauten Young und Collins Teilweiserund vollständiger Ausstieg von Collins Kopplungsmanöver mit der Agena
	August	Lunar Orbiter I übermittelt Photos für Surveyor-Apollolandemöglichkeiten während seiner Mondumkreisung
	September	Gemini XI: Astronauten Conrad und Gordon Vollständiger (37 Minuten) und teilweiser Ausstieg (2 Stunden 8 Minuten) von Gordon Künstliche Schwerkraftbildung mit der Agena
	November	Gemini XII: Astronauten Lovell und Aldrin Teilweiser (2 Stunden 31 Minuten) und

1966		vollständiger Ausstieg (2 Stunden 9 Minuten) von Aldrin 2. teilweiser Ausstieg (57 Minuten) von Aldrin Kopplung mit der Agena
1967		Weitere erfolgreiche Surveyorstarts 2-7 zwischen 1967 und 1968 Beginn des Apolloprogramms
	Januar	Apollo 1: Astronauten Grissom, White und Chaffee werden durch Feuerausbruch in der Kommandokapsel an Bord der Saturn I auf dem Startkomplex 34 getötet Verzögerung im Apolloflugprogramm Vorgesehene medizinische Serien bei Apollo: - Vektorkardiogramme - Tätigkeit des Metabolismus - Festlegung der kardiovaskulären Funktionen - Knochen- und Muskulaturveränderungen - Vestibularfunktion des Menschen - Neurologische Studien - Zeit- und Bewegungsstudien
	April	Sojus 1: Kosmonaut Komarow auf Umlaufbahn Tod des Kosmonauten bei der Landung
	November	Erfolgreicher Flug der Saturn V; Apollo 4 auf Umlaufbahn gebracht
1968	Januar	Erste Testflüge der Mondfähre mit Apollo 5 in der Erdumlaufbahn

1968	Oktober	Apollo 7:	Erster bemannter Raumflug Astronauten Schirra, Eisele und Cunningham
	Oktober	Sojus 2:	unbemannt im All
		Sojus 3:	Kosmonaut G. Beregowoi Rendezvous im All ohne Kopplung
	Dezember	Apollo 8:	Astronauten Borman, Lovell und Anders umkreisen als erste Menschen den Mond
1969	Januar	Sojus 4:	Kosmonaut Schatalow
		Sojus 5:	Kosmonauten Wolinow, Jelissejew und Chrunow Ankopplung im All, Ausstieg von Chrunow und Jelissejew, einstündige extrakapsuläre Tätigkeit und Umsteigen auf die andere Kapsel
	März	Apollo 9:	Erster bemannter Flug der Raumfähre in der Erdumlaufbahn mit den Astronauten McDivitt, Schweickart und Scott Brechreiz bei Schweickart und deshalb sein verkürztes Außenbordmanöver Ausstieg von Astronaut Scott
	Mai	Apollo 1o:	Erste Mondumkreisung der Mondfähre durch die Astronauten Stafford, Cernan und Young, der die Kommandokapsel auf Umlaufbahn hielt
	Juli	Luna 15:	Landung auf dem Mond

1969	Juli	Apollo 11:	Astronauten Armstrong und Aldrin landen als erste Menschen auf dem Mond (Meer der Ruhe, Aufenthalt 21 Stunden 36 Minuten) Astronaut Collins in der Kommandokapsel auf Mondumlaufbahn
	Oktober	Sojus 6:	Kosmonauten G. Shonin und V. Kubasow
		Sojus 7:	Kosmonauten A. Filipchenko, V. Gorbatka und V. Wolkow
		Sojus 8:	Kosmonauten V. Shatalow und A. Jelissejew
	November	Apollo 12:	Mondspaziergang der Astronauten Conrad und Bean (Ozean der Stürme, Aufenthalt 31 Stunden 31 Minuten) Astronaut Gordon an Bord der CSM
197o	April	Apollo 13:	Abbruch der Mission wegen leckgeschlagenem Sauerstofftank. Sichere Rückkehr der Astronauten Lovell, Swise und Haise
		Umbenennung von Apollo Applications Program in Skylab in der Absicht Einrichtung einer Raumstation in der Erdumlaufbahn	
	Juni	Sojus 9:	Kosmonauten A. Nikolayew und V. Sevastianov
1971	Januar	Apollo 14:	Dritte erfolgreiche Mondlandung durch die Astronauten Shepard und Mitchell (Fra Mauro, Aufenthalt 33 Stunden) Astronaut Roosa an Bord der CSM

1971	April	Saljut 1	als Raumstation in Erdumlaufbahn gebracht
		Sojus 1o	Kosmonauten Schatalow, Yelissejew und Rukawischnikow docken an Saljut 1 an Abbruch der Mission wegen Anpassungsschwierigkeiten an die Schwerelosigkeit seitens Rukawischnikow
	Juni	Sojus 11	Kosmonauten Dobrowolski, Wolkow und Patzajew koppeln mit Saljut 1 Ziel: -Registrieren von Blutdruck, Herztätigkeit und physische Belastungen -Kalziumgehalt der Knochen -Erproben eines Antischwerelosigkeitsraumanzugs 23 tägiger Raumaufenthalt = Verweilzeitrekord Tod aller drei Kosmonauten bei Eintritt in die Erdatmosphäre durch Dekompression (mögliche Ursache: undichte Luke ?)
	Juli	Apollo 15:	Erstmalige Benutzung des Mondautos auf dem Mond durch die Astronauten Scott und Irwin (Hadley-Gebirge, Aufenthalt 66 Stunden 54 Minuten) Astronaut Worden an Bord der CSM
1972	Februar	Luna 2o	weiche Mondlandung im Meer der Fruchtbarkeit, Rückkehr zur Erde mit Gesteinsproben

1972	April	Apollo 16:	5. erfolgreiches Mondlandeunternehmen durch die Astronauten Young und Duke (Descartes; Aufenthalt 71 Stunden) Astronaut Mattingly an Bord der CSM
	Dezember	Apollo 17:	Längste Mission im Apolloprogramm (3o1 Stunden 52 Minuten) Landung der Astronauten Cernan und Schmitt auf dem Mond (Taurus-Littrow, Aufenthalt fast 75 Stunden) Astronaut Evans in der CSM
1973	Januar	Luna 21	weiche Mondlandung mit Lunokhod 2 (Mondauto)
	März	Venus 8	weiche Landung auf diesem Planeten
	April	Saljut 2	auf Erdumlaufbahn geschoßen und Ende April verglüht
	Mai	Skylab:	Start des Himmellabors auf seine Umlaufbahn, Start der ersten Skylabbesatzung mit den Astronauten Conrad, Weitz und Kerwin (Mediziner) Kopplung an das Labor für 28 Tage Ausstieg und Reparaturdurchführung an den Sonnenzellflächen von Conrad und Kerwin
		Daten:	Skylabatmosphäre 72% O_2, 24-28% N_2, Gasdruck o,34 Atm neben Auswirkungen langdauernder Schwerelosigkeit auf den Astronauten weitere Untersuchungen über

1973	Mai	Mineralhaushalt
		Bioanalyse der Körperflüssigkeiten
		Massenbestimmung mit Eichprobe
		Knochenmineral-Messungen
		Unterdruck-Unterkörper-Messungen
		Vektorkardiogramm-Messungen
		(Bestimmung von Stärke und Richtung der
		Aktionsströme der Herzmuskelfasern)
		Blutzytologie-Studien
		(Zellfunktionsuntersuchungen des Blutes)
		Immunitäts-Messungen
		Bestimmung von Blutvolumen und Lebens-
		zeiten roter Blutzellen
		Stoffwechselstudien an roten Blutkör-
		perchen
		Beobachtung hämatologischer Effekte
		(Blutverhalten)
		Gleichgewichtssinn-Experimente
		Schlafüberwachung (EEG, Elektroculogramm)
		Zeit- und Bewegungsstudien
		(Anpassung an Schwerelosigkeit)
		Stoffwechsel-Messungen
		Bestimmung der Körpermassen
		Auswirkungen der Schwerelosigkeit auf
		einzelne menschliche Zellen
		Tag-/Nachtrhythmus-Einfluß auf Taschenmäuse
		Tag-/Nachtrhythmus-Einfluß auf Taufliegen

1973	Juli August	Mars 4-7 auf dem Weg zum Mars
	August	Start der 2. Skylabbesatzung mit den Astronauten Bean, Garriott und Lousma Kopplung an das Labor für 59 Tage Auftreten von Übelkeitserscheinungen in der ersten Woche Ziel: Erderkundung, Sonnenforschung, Versuche mit dem Hitzeschild und medizinische Langzeitüberwachung
	September	Sojus 12: Kosmonauten Lazarew und Makarow
	November	Start der 3. Skylabastronautengruppe mit Carr, Gibson und Pogue Kopplung für 84 Tage Medizinische Daten über Langzeitraumprogramme Ergebnis der Skylabunternehmen: - 15 % Abnahme der Erythrozyten - geringfügiger Calciumverlust - Abnahme des Körpergewichts um 1 kg - Verringerung der Körpergröße um 2,5 - 5 cm Folgerung: Durchführen eines täglichen körperlichen Trainings mit Ergometer, Drehstuhl, Expander und Hanteln, wie schon exerziert wurde
	Dezember	Sojus 13: Kosmonauten Klimuk und Lebedew
1974	Juni	Saljut 3 auf Umlaufbahn
	Juli	Sojus 14: Kosmonauten Popowitsch und Artyukhin

1974	Juli	Umstieg auf Saljut 3
	August	Sojus 15: Kosmonauten Sarafanow und Demin
	Dezember	Sojus 16: Kosmonauten Filipchenkow und Rukawischnikow
		Saljut 4 auf Umlaufbahn gebracht
1975	Januar	Sojus 17: Kosmonauten Gubarev und Gretschko
		Andocken und Umsteigen auf Saljut 4 für 3o Tage
		Brustschmerzen bei Gretschko und verzögerte Readaptation an 1 g
	April	Bemanntes Sojusunternehmen mit Lazarew und Makarow wegen Defekt oder Störung abgebrochen. Sichere Rückkehr zur Erde
	Mai	Sojus 18: Kosmonauten Klimuk und Sewastjanow
		Arbeit für 63 Tage in Saljut 4
	Juni	Venus 9 und 1o auf dem Weg zur Venus
	Juli	Sojus 19: Kosmonauten Leonow und Kubasow
		Apollo Astronauten Stafford, Brand und Slayton
		Gemeinsames Apollo-Sojus-Test Project (ASTP) mit Kopplung und Umstieg
	August	Viking 1 und 2 zum Mars : Bilder und Analyse der
	September	Bodenproben von der Marsoberfläche
	November	Sojus 2o: Unbemannt, Andocken an Saljut 4
1976	Juni	Saljut 5 auf Umlaufbahn gebracht
	Juli	Sojus 21: Kosmonauten Volynow und Zholobor
		Kopplung und Umstieg auf Saljut 5
		Missionsdauer 49 Tage

1976	August	Luna 24	Mondlandung und Rückkehr mit Gesteinsproben
	September	Sojus 22:	Kosmonauten Bykowskiy und Aksenor (7 Tage)
	Oktober	Sojus 23:	Kosmonauten Zudow und Rozhdest wenskity mißlungener Kopplungsversuch an Saljut 5
1977		Space Shuttle Probeflüge	
	Februar	Sojus 24:	Kosmonauten Gorbatko und Glazkor Kopplung und Umstieg auf Saljut 5
	September	Saljut 6	auf Umlaufbahn
	Oktober	Sojus 25:	Kosmonauten Kovalenok und Ryumin mißlungener Kopplungsversuch mit Saljut 6
	Dezember	Sojus 26:	Kosmonauten Romanenko und Gretschko Kopplung und Umstieg auf Saljut 6 Aufenthalt 96 Tage Ausstieg und extrakapsulärer Aufenthalt von Gretschko für 1 Stunde 28 Minuten medizinische Experimente z.B. -Raumanzüge mit Unterdruck, um Blut in die unteren Extremitäten zu befördern -1,5 - 2 cm Verlust an Muskelumfang an den Beinen in der Schwerelosigkeit letzteres Ergebnis vgl. Skylabmission nichtgenehmigter Ausstieg von Romanenko 3 Wochen für Readaptation

1978 Januar Sojus 27: Kosmonauten W. Dshanibekow und O. Makarow

März Sojus 28: Kosmonauten A. Gubajew und W. Remek (CSSR)
Test eines russischen Raumfahrzeugs mit Deltaflügeln als Gegenstück zu Space Shuttle

April Trainingsbeginn der 2. Kosmonautengruppe mit Kandidaten aus Bulgarien, Ungarn, Cuba, Mongolei und Rumänien

Juni Sojus 29: Kosmonauten Kowalenok und Iwanchenkow
Wiederinbetriebnahme von Saljut 6 durch die Kosmonauten
Untersuchungen z.B.
-kardiovaskuläre Untersuchungen
- elektrische Muskelstimulation als eine Trainingsform unter Schwerelosigkeit
Aufenthalt 14o Tage im All = derzeitiger Verweilrekord im Weltraum

Juni Sojus 3o: Kosmonauten Klimuk und Hermaszewski (Polen)
Kopplung an Saljut 6 und Zusammenarbeit mit Sojus 29 für 9 Tage
ausgedehnte medizinische und biologische Tests

Juli Space Shuttle: Verzögerung im NASA Space Shuttle-Programm; Entwicklungsschwierigkeiten mit dem Rocketdyne-Hauptaggregat
erster Start im Juni 1979 in Frage ge-

1978 stellt.

August Sojus 31: Kosmonauten Bykowskij und Jaehn (DDR)
Andocken an Saljut 6 für 7 Tage

Dezember Space Shuttle: Fehlschlag im Programm durch Feuer im Hauptaggregat des Raumfahrzeugs bei Probeflug
weitere Verzögerung des Starts
neuer Termin: Ende September 1979

1979 Februar (25.2.-13.6.) Sojus 32: Kosmonauten Lachow und Ryumin
Kopplung an Saljut 6
intensives Tagestraining der Raumfahrer für 2,5 Stunden/Tag im Gegensatz zu früheren Langzeitraumunternehmen
Untersuchungen und Experimente z.B.
-Gammastrahlung und Elektronen in erdnaher Umlaufbahn
-Übersendung von Fernsehbildern von der Erde zur Raumkapsel, Ausbau für spätere Nachrichtenübermittlung jeder Art
Aufenthalt fast 8 Wochen bei Niederschrift

April (1o.4.-12.4.) Sojus 33: Kosmonauten Rukawischnikow und Jwanow (Bulgarien)
mißlungene Kopplung an Saljut 6

Juni (6.6.-19.8.) Sojus 34: Lachow, Rumin

1979	September	Space Shuttle: vorgesehener erster Space Shuttle Start
1980	April 9.4.	Sojus 35: Popow, Rumin Kopplung mit Saljut 6
	Mai 26.5.	Sojus 36: Kubasow, Farkas (Ungarn)
	Juni 5.6.-9.6.	Sojus-ST2
	September 18.9.	Sojus 38: Romanenkow, Mendez (Kuba) als letztes Sojusunternehmen

Literatur für Tabelle

BROCK, RUDOLF — Mondraketen
Schwann-Verlag Düsseldorf 1969

BÜDELER, WERNER — Skylab-Das Himmelslabor
Econ Verlag Düsseldorf 1973

CLARKE, A.C. — Mensch und Weltraum
Redaktion von Life, 1965

CORTRIGHT, E.M. — Apollo Expeditions to the Moon
NASA SP-35o, National Aeronautics and Space Administration, Washington D.C., 1975

Enzyklopädie der Weltraumfahrt — Die Sterne rücken näher - Band 1
Bertelsmannverlag, 1968

GATLAND, KENNETH — Bemannter Raumflug
Orell Fussli Verlag, Zürich

GRIMWOOD, J.M. — Project Mercury, A Chronology
MSC Publication HR 1, National Aeronautics and Space Administration Washington D.C., 1963

GRIMWOOD, J.M. — Project Gemini - Technology and Operations, a chronology

HACKER, B.C. VORZIMMER, P.J. — NASA SP-4oo2, National Aeronautics and Space Administration, Washington D.C., 1969

METZLER, RUDOLF — Hallo Erde
Loewes Verlag Ferdinand Carl, Bayreuth, 1969

Autor unbekannt — weitere Sojus-, Saljut-, Skylab- und Space Shuttledaten ausgehändigt von der Deutschen Forschungs- und Versuchsanstalt für Luft- und Raumfahrt e.V.
(Dr.med. Jerry R. Hordinsky
NASA Aerospace Medical Consultant)

APPENDIX 8—MANNED SPACE FLIGHT RECORD SUMMARY OF MERCURY AND GEMINI FLIGHTS

[From Mercury and Gemini Mission Reports]

Mission, crew	Date	Spacecraft flight time (hr:min:sec)	Orbits/ Revolutions	Mission Man-hours (hr:min:sec)	Cumulative Man-hours (hr:min:sec)	Recovery Area	Recovery Ship, U.S.S.	Significant Events
MR-3 Shepard	May 5, 1961	15:22		15:22	15:22	Atlantic	*Lake Champlain.*	First manned suborbital.
MR-4 Grissom	July 21, 1961	15:37		15:37	30:59	Atlantic	*Randolph*	Second manned suborbital.
MA-6 Glenn	Feb. 20, 1962	4:55:23	3.0	4:55:23	5:26:22	Atlantic	*Noa*	First orbital.
MA-7 Carpenter	May 24, 1962	4:56:05	3.0	4:56:05	10:22:27	Atlantic	*Pierce, Intrepid,**	Three orbits.
MA-8 Schirra	Oct. 3, 1962	9:13:11	6.0	9:13:11	19:35:38	Pacific	*Kearsarge*	Six orbits.
MA-9 Cooper	June 15–16, 1963	34:19:49	22.0	34:19:49	53:55:27	Pacific	*Kearsarge*	Twenty-two orbits.
Gemini III Grissom and Young.	Mar. 23, 1965	4:52:31	3.0	9:45:02	63:40:29	Atlantic	*Intrepid*	First two-man orbital.
Gemini IV McDivitt and White.	June 3–7, 1965	97:56:12	62.0	195:52:24	259:32:53	Atlantic	*Wasp*	First extravehicular activity.
Gemini V Cooper and Conrad.	Aug. 21–29, 1965	190:55:14	120.0	381:50:28	641:23:21	Atlantic	*Lake Champlain.*	Long-duration mission.
Gemini VII Borman and Lovell.	Dec. 4–18, 1965	330:35:01	206.0	661:10:02	1302:33:23	Atlantic	*Wasp*	Long-duration, rendezvous.
Gemini VI-A Schirra and Stafford.	Dec. 15–16, 1965	25:51:24	16.0	51:42:48	1354:16:11	Atlantic	*Wasp*	Rendezvous.
Gemini VIII Armstrong and Scott.	Mar. 16, 1966	10:41:26	6.6	21:22:52	1375:39:03	Pacific	*Mason*	Rendezvous, first docking.
Gemini IX-A Stafford and Cernan.	June 3–6, 1966	72:20:50	45.0	144:41:40	1520:20:43	Atlantic	*Wasp*	Rendezvous, extravehicular activity.
Gemini X Young and Collins.	July 18–21, 1966	70:46:39	43.0	141:33:18	1661:54:01	Atlantic	*Guadalcanal.*	Rendezvous, dock, extravehicular activity, altitude record (475 mi.).
Gemini XI Conrad and Gordon.	Sept. 12–15, 1966	71:17:08	44.0	142:34:16	1804:28:17	Atlantic	*Guam*	Rendezvous, dock, extravehicular activity, altitude record (853 mi.).
Gemini XII Lovell and Aldrin.	Nov. 11–15, 1966	94:34:31	59.0	189:09:02	1993:37:19	Atlantic	*Wasp*	Rendezvous, dock, extravehicular activity.

Total United States Flight Time (hr:min:sec) 1023:46:23 Total Manhours (hr:min:sec) 1993:37:19

*The *Intrepid* picked up the astronauts; the *Pierce* retrieved the spacecraft.

Aus Grimwood,J.M. et al. : Project Gemini

Die bemannten Weltraumflüge

Sowjetunion

Name der Raumkapsel	Abschuß		Gewicht (in kg)	Umlaufperiode (in Min.)	Neigungswinkel (in Grad)	Perigäum (in km)	Apogäum (in km)	Ergebnisse der Mission – Bemerkungen
	örtl. Datum	Rakete						
Wostok I	**12. 4. 1961**		**4725**	**89,1**	**65,0**	**180**	**327**	Rückkehr am 12. 4. 61. Erster Flug eines Menschen im Weltraum. Landung von Jurij Gagarin nach einer Erdumkreisung.
Wostok II	**6. 8. 1961**		**4731**	**88,6**	**64,9**	**179**	**257**	Rückkehr am 7. 8. 61. Landung von German Titow nach 17 Erdumkreisungen.
Wostok III	**11. 8. 1962**		**4730**	**88,3**	**65,0**	**183**	**251**	Rückkehr am 15. 8. 62. Landung von Andrian Nikolajew nach 64 Erdumkreisungen. Doppelflug mit Wostok IV.
Wostok IV	**12. 8. 1962**		**4730**	**88,4**	**65,0**	**180**	**254**	Rückkehr am 15. 8. 62. Landung von Pawel Popowitsch nach 48 Erdumkreisungen. Flog in 5 km Entfernung an Wostok III vorbei.
Wostok V	**14. 6. 1963**		**4730**	**88,3**	**65,0**	**175**	**222**	Rückkehr am 19. 6. 63. Landung von Walerij Bykowskij nach 81 Erdumkreisungen. Doppelflug mit Wostok VI.
Wostok VI	**16. 6. 1963**		**4730**	**88,4**	**65,0**	**183**	**233**	Rückkehr am 19. 6. 63. Landung von Walentina Tereschkowa, der ersten Astronautin, nach 48 Erdumkreisungen. Flog in 5 km Entfernung an Wostok V vorbei.
Woschod I	**12. 10. 1964**		**5321**	**90,1**	**65**	**161**	**410**	Rückkehr am 13. 10. 64. Erste Drei-Mann-Raumkapsel. Landung von Wladimir Komarow, Konstantin Feoktistow und Boris Jegorow nach 16 Erdumkreisungen.
Woschod II	**18. 3. 1965**		**5988**	**90,9**	**65**	**172**	**496**	Rückkehr am 19. 3. 65. Alexej Leonow verbringt 10 Minuten außerhalb der Raumkapsel und landet mit Pawel Beljajew nach 17 Erdumkreisungen.

Vereinigte Staaten

Mercury-Atlas MA-6	**20. 2. 1962**	**Atlas D**	**1355**	**88,5**	**32,5**	**161**	**262**	Rückkehr am 20. 2. 62; erster bemannter amerikanischer Raumflug auf einer Umlaufbahn. Bergung der Kapsel Friendship 7 mit John Glenn nach 3 Erdumkreisungen.
Mercury-Atlas MA-7	**24. 5. 1962**	**Atlas D**	**1349**	**88,3**	**32,5**	**161**	**269**	Rückkehr am 24. 5. 62; Scott Carpenter und seine Kapsel Aurora 7 werden nach 3 Erdumkreisungen geborgen.
Mercury-Atlas MA-8	**3. 10. 1962**	**Atlas D**	**1374**	**89,0**	**32,5**	**161**	**283**	Rückkehr am 3. 10. 62; Bergung von Walter Schirra und Sigma 7 nach 6 Erdumkreisungen.
Mercury-Atlas MA-9	**15. 5. 1963**	**Atlas D**	**1361**	**88,5**	**32,5**	**161**	**267**	Rückkehr am 16. 5. 63; Bergung von Gordon Cooper und Faith 7 nach 22 Erdumkreisungen. Letzter Mercury-Flug.
Gemini 3	**23. 3. 1965**	**Titan II**	**3175**	**88,2**	**32,5**	**162**	**224**	Rückkehr am 23. 3. 65; erstes Bahnmanöver eines bemannten Satelliten. Bergung von Virgil Grissom und John Young nach 3 Erdumkreisungen.
Gemini 4	**3. 6. 1965**	**Titan II**	**3566**	**89,0**	**32,0**	**161**	**282**	Rückkehr am 7. 6. 65; Ausstieg in den Weltraum von Edward White für 21 Minuten. Bergung von James McDivitt und Edward White nach 62 Erdumkreisungen.
Gemini 6	**21. 8. 1965**	**Titan II**	**3600**	**95**	**32,6**	**162**	**350**	Rückkehr am 29. 8. 65; Gordon Cooper und Charles Conrad werden nach 120 Erdumkreisungen geborgen. Rendezvous mit einem angenommenen Satelliten.
REP			**34,5**					Verglüht am 27. 8. 65. Zielsatellit, von Gemini 5 abgeworfen. Konnte nicht verwendet werden.
Gemini 7	**4. 12. 1965**	**Titan II**	**3660**	**89,2**	**28,9**	**161**	**328**	Rückkehr am 18. 12. 65; Bergung von Frank Borman und James Lovell nach 206 Erdumkreisungen. Diente Gemini 6 als Ziel.
Gemini 6	**15. 12. 1965**	**Titan II**	**3175**	**88,5**	**28,9**	**161**	**311**	Rückkehr am 16. 12. 65; erstes Rendezvous im Weltraum mit Gemini 7 (kleinste Entfernung 30 cm) Walter Schirra und Tom Stafford werden nach 17 Erdumkreisungen geborgen.
Agena GATV-8		**Atlas-Agena D**	**3171**	**90,4**	**28,9**	**299**	**299**	Auf der Umlaufbahn. Ziel für Gemini 8.
Gemini 8	**16. 3. 1966**	**Titan II**	**3540**	**88,5**	**28,9**	**161**	**272**	Rückkehr am 16. 3. 66. Erste Koppelung im Weltraum mit der Agena. Vorzeitige Bergung von Neil Armstrong und David Scott nach 6½ Erdumkreisungen.
ATDA	**1. 6. 1966**	**Atlas D**	**795**	**90,2**	**28,9**	**288**	**293**	Verglüht im August 66; vereinfachtes Ziel für Gemini 9. Die Schutzhülle hatte sich nicht abgelöst, daher keine Koppelung.
Gemini 9	**3. 6. 1966**	**Titan II**	**3545**	**88,5**	**28,9**	**159**	**312**	Rückkehr am 6. 6. 66; Rendezvous mit der ATDA. Ausstieg von Cernan für 2 Stunden. Tom Stafford und Eugene Cernan werden nach 44 Erdumkreisungen geborgen.
Agena GATV-10	**18. 7. 1966**	**Atlas-Agena D**	**3260**	**90,3**	**28,9**	**295**	**304**	Auf der Umlaufbahn; Ziel für Gemini 10
Gemini 10		**Titan II**	**3536**	**88,5**	**28,9**	**161**	**270**	Rückkehr am 21. 7. 66; Koppelungsmanöver mit der Agena. Übergang auf eine Umlaufbahn mit 763 km hohem Apogäum. Teilweiser Ausstieg von Collins für 45 Minuten, vollständiger Ausstieg für 36 Minuten. John Young und Michael Collins werden nach 43 Erdumkreisungen geborgen.
Agena GATV-11	**12. 9. 1966**	**Atlas-Agena D**	**3265**	**90,3**	**28,9**	**290**	**308**	Auf der Umlaufbahn; Ziel für Gemini 11
Gemini 11		**Titan II**	**3655**	**88,5**	**28,9**	**161**	**280**	Rückkehr am 15. 9. 66; Koppelung mit der Agena, Übergang auf eine Umlaufbahn mit 1374 km hohem Apogäum. Vollständiger Ausstieg von Gordon für 37 Minuten, teilweiser Ausstieg für 2 Stunden 8 Minuten. Versuch künstlicher Schwerkraftbildung mit der Agena. Charles Conrad und Richard Gordon nach 44 Erdumkreisungen geborgen.
Agena-GATV-12	**11. 11. 1966**	**Atlas-Agena D**	**3175**	**90,3**	**28,9**	**297**	**297**	Auf der Umlaufbahn, Ziel für Gemini 12.
Gemini 12		**Titan II**	**3540**	**88,5**	**28,9**	**161**	**270**	Rückkehr am 15. 11. 66; Koppelung mit der Agena. Teilweiser Ausstieg von Aldrin für 2 Stunden 31 Minuten, vollständiger Ausstieg für 2 Stunden 9 Minuten, zweiter teilweiser Ausstieg für 57 Minuten. Bergung von James Lovell und Edwin Aldrin nach 59 Erdumkreisungen.

aus Enzyklopädie der Weltraumfahrt

Literaturverzeichnis

ADRIAN E.D.(51) The Electroencephalogramm as a means of assessing the aptitude of RAF cadets. Failure to establish any correlation in 1oo cases. FPRC Report 282, 1941

AGNEW H.W., WEBB W.B. WILLIAMS R.L. (226) The effects of stage for sleep deprivation. Electroenceph.clin.neurophysiol. 17, pg. 68, 1964

AIRD R.B. (54) Y. GASTAUT Occipital and posterior electroencephalographic rhythmus. Electroenceph.Clin.Neurophysiol. 11:637-656, 1959

ASCHOFF J.C. (42) The importance of the EEG for Aviation Medicine with particular consideration of telemetric inflight leads, Wehrmed. Mschr. Nr.3, 1969

A re. (2o2) A review of Soviet manned space flight dosimetry results. Aerospace Med. 4o,12, pg. 1547-1555, 1969

An ev. (2o3) An evaluation of current methods of predicting space radiation doses by comparing dose rate calculations with Gemini IV,OV 1-2, OV;-4, and OV 1-9 experimental measurements. Aerospace Med. 4o,12, pg. 1557-1567, 1969

BAILEY O.T. (222) dass. - Part IV. Oberservations on the brain. Aviat.Space ORDY J.M., HAYMAKER W. Environ Med. pg. 527, April 1975 - vgl. Leon (219) -

BAILLART P. (179) Ophthalmodynamometry. In Ridley,F. and Sorsby,A.: Modern Trends in Ophthalmology, Paul B. Hoeber, Inc. N.Y. 194o, pp. 195

BANCROFT R.W. (215) SIMMONS D.G. Rapid decompressions up to 6o.ooo ft. wearing the standardoxygen mask. Aerospace Med, March 1964, pg. 2o3

BARANY R. (132) ROTHFELD J. Untersuchungen des Vestibularapparatus bei akuter Alkoholintoxikation und bei Delirium tremens. Z.Nervenheilk. 5o:133, 1913

BARRY W.E. (184) TREDICI T.J.	Drusen of the optic disc with visual field defect and Marcus Gunn pupillary phenomenon. Aerospace Med. 43, 2,2o3-2o6, 1972
BAUMGARTEN v.R.J. (37) BALDRIGHI G. SHILLINGER G.L.	Vestibular behavior of fish during diminished G-force and weightlessness. Aerospace Med. 43:626-632, 1972
BAUMGARTEN v.R.J. (142) SIMMONDS R.C. BOYD J.P. GARRIOT O.K.	The effect of weightlessness on the spatial orientation of fish during the second manned skylab mission. Proceedings of the Congress of the German Physiological Society in Hannover, March 1971 (Pflügers Archiv)
BAUMGARTEN v.R.J. (17o) SIMMONDS R.C., BOYD J.F., GARRIOT O.K.	Effects of prolonged weightlessness on the swimming pattern of fish aboard Skylab 3, Aviat. Space Environ Med. 46:9o2-9o6, 1975
BECKER-FREYSENG (2)	Development, Organisation and Experiences of Aviation Medicine in Germany during World War II (195o)
BENNETT D.R. (39) DUVOISIN R.C.	The EEG in Aerospace Medicine. Aerospace Med. May 1964
BENNETT (53) D.R.	Control electroencephalographic study of flying personnel. pp. 23-25. in Perry C.J.G.(Ed) Psychiatry in Aerospace Medicine. Boston: Little, Brown & Co., 1967
BENNETT D.R. (55)	Spike-wave complexes in "normal" flying personnel. Aerospace Med. 38:1276-1282, 1967
BENNETT D.R. (62)	Epilepsy in aircrew. Aerospace Med. February 1964
BENNETT A.M.H. (188)	Sensory deprivation in aircrew. Chap. 11 in Sensory Deprivation, ed. Soloman,P., Cambridge, Ma., Harvard University Press, 161-173, 1961
BENSON A.J. (186)	Spatial disorientation and the "break-off" phenomenon. Aerospace Med. 44, 8, 944-52, 1973

BERKHEISER S.W. (6o) Intracranial aneurysm and sudden death. Aerospace Med. 43,3, 1972

BERRY C.A. (17) Pre-Gemini predictions versus Gemini flight results.
CATTERSON A.D. IN Gemini Summary Conference, NASA, SP-138, Manned Space craft Center, Houston,Texas, 1-2 Feb. 1967

BERRY C.A. (18) Medical results of Apollo 14 implications for longer duration space flights. Paper presented at the XXII nd. Internat. Astronautical Congress, Brussels, Belgium, 25. Sept. 1971

BERRY C.A. (19) Summary of medical experience in the Apollo 7 through 11 manned space flights. Aerospace Med. 41:5oo-519, 197o

BERRY C.A. (81) Findings on American Astronauts bearing on the issue of
HOMICK G.L. artificial gravity for future manned space vehicles. Aerospace Med. 44,2:163-168, 1973

BERRY C.A. (162) Status report on space medicine in the United States. Aerospace Med. 4o,762, 1969

BLACKBURN jr.L.H. (72) The evaluation of physiological syncope in aviation personnel. Aerospace Med., December 1964

BLANC C. (48) Utilisation de l'EEG en medicine aeronautique.
LAFONTAINE E. Aspects de l'EEG en relation avec les facteurs psychologiques et physiologiques. Congrés International de Medicine
LAPLANE R. Aeronautique et Cosmonautique, Madrid, Octobre, 1962

BLANC C. (49) Utilisation de l'EEG en medicine aeronautique.
LAFONTAINE E. Problèmes théoriques et practiques. Congrès International
LAPLANE R. de Medicine aeronautique et cosmonautique, Madrid, Okt., 1962

BLANC C. (5o) Meaning and Value of Electroencephalography in aeronau-
LAFONTAINE E. tical medicine. Aerospace Med.,
LAPLANE R. March 1964

BOWMANN (213) R.W. COOKE J.P. CASEY H.W. — Electron microscopy of canine cerebellar Purkinje cells after rapid decompression to a near-vacuum. Aerospace Med. 4o,8,869-873, 1969

BUCHTHAL F. (56) LENNOX M. — The EEG effect of metrazol and photic stimulation in 682 normal subjects, Electroenceph.Clin-Neurophys. 5, 545-558, 1953

BUHRLEN L. (193) — Versuche über die Bedeutung bei Einwirken von Fliehkräften auf den menschlichen Körper. Luftfahrtmedizin 1:3o7-325, 1937

BUCHARD E.C. (197) — Space mission simulation-a necessary element in planning and training for Shuttle Spacelab missions

BRIERLEY J.B. (21o) NICHOLSON A.N. — Neuropathological correlates of neurological impairment following prolonged decompression. Aerospace Med. 4o,2,148-152, 1969

BRIERLEY J.B. (211) NICHOLSON A.N. — Neurological study of simulated decompression in supersonic transport aircraft. Aerospace Med. 4o, 8,83o, 1969

BROWN F.M. (67) — Vertiginous flyer: a review of 6 years' experience of the aeromedical consultation service. Aerospace Med. 42 (8), 1971

BROWN F.M. (139) — Vertigo due to increased middle ear pressure: six-year experience of the aeromedical consultation service. Aerospace Med. 42,9,999, 1971

BRUNER A. (125) NORRIS T.W. — Lateralisation of hearing loss and vestibular nystagmus in test pilots. Aerospace Med. 41,6, 684, 197o

CAMERON R.G. (182) — Rational approach to color vision testing. Aerospace Med., Jan. 1967

CAMERON R.G. (224) Psycho-physiological effects on air hostesses. Aerospace Med. 4o:1o18, 1969

CAMERON R.G. (225) Effect of flying on the menstrual function of air hostesses. Aerospace Med. 4o,9,1o2o-1o23, 1969

CAMPELL P.A. (36) The hunting phenomenon during flight in the weightless state. Presented at the AGARD-NATO Aerospace Medical Panel Meeting, Paris, 1962

CANFIELD A.A. (156) The influence of increased positive g on reaching
COMREY A.L. movements.
WILSON R.C. J.Appl.Psychol. 37:23o, 1953

CASEY H.W. (212) Residual pathologic changes on the central ner-
BANCROFT R.W. vous system of a dog following rapid decompression
COOKE J.P. to 1 mmHg. Aerospace Med. July 1966, pg 713-718

CIGANEK L. (86) Theta-Discharges in the middle-line-EEG symptom of temporal lobe epilepsy. Electroenceph.clin. Neurophysiol. 13:669-673, 1961

CLARK B. (14) Effects of angular acceleration on man: thre-
STEWART J.D. sholds for the perception of rotation and the oculogyral illusion. Aerospace Med. 4o (9): 952-956, 1969

CLARK B. (1o9) Comparision of the sensitivity to rotation of
STEWART J.D. pilots and nonpilots. Aerospace Med. 43, 1, 8-12, 1972

CLARK B. (112) The relationship between motion sickness expe-
STEWART J.D. rience and tests of the perception of rotation in pilots and nonpilots. Aerospace Med. 44,4, 393-396, 1973

COHEN L.A. (71) Analysis of induced disorientation in primates. Aerospace Med. Jan. 1964

COHEN M.M. (159) Hand-eye coordination in altered gravitational fields. Aerospace Med. 41,6, 197o

COHEN M.M. (16o) Sensory-motor adaptation and aftereffects of esposure to increased gravitational forces. Aerospace Med., 41,3, 197o

COHEN (185) Drusen of the optic disc and the development of field defects. Arch, Ophthal. 85:224-226, 1971

COOKE J.P. (181) Intraocular pressure and retinal responses of dogs at 45.ooo and 8o.ooo feet. Aerospace Med. 41:283-289, 197o

COOPER jr. L.G. (174) The feelings of an astronaut. Brassey ś Annual Chap. VII, pp.58-7o, 1966

DECHER H. (1o) Neues zur Labyrinthphysiologie. Die Drehreizschwellen der vertikalen Bogengänge, Arch.Ohr-, Nase-, Kehlk.hk. (Berlin) 181:395, 1963

DECHER H. (11) Vestibularapparat und Raumfahrt, Z.Laryng. Rhinol. Otol, 47:571, 1968

DECHER H. (12o) Experimental labyrinthine tests on isolated individual semicircular canals as a fitness test for astronauts. Aerospace Med. 4o,11,12o3, 1969

DENISSOW V.G. (171) Schagi sredi swjosd,
ONISTSCHENKO W.F. Moscow 197o

DERMKSIAN G. (84) The problem of loss of consciousness in flying personnel. In First International Symposium on Cardiology in Aviation. Brooks Air Force Base, Texas, School of Aviation Medicine (SAM), 1959

DERMKSIAN G. (85) LAMB L.E.	Syncope in a population of healthy young adults. J.A.M.A. 168:1623, 1958
DIAMOND S. (175) LEDERER L.G. LEEDS M.F. PRATHO P.M.	Neuro-ophthalmic and aeromedical implications of internal carotid artery insufficiency Aerospace Med. Sept. 1966
DIAMOND S. (176) LEDERER L.G. BUDINGTON W.G.	Sudden oculomotor palsy: a cerebrovascular diagnostic problem in an aging pilot. Aerospace Med. April 1963
DILLE J.R. (138) PEI CHIN TANG	Inflight loss of consciousness. Aerospace Med. Juni 1964
DILLE J.R. (169)	Medical certification of civil pilots after head trauma. Aerospace Med. 4o, 1o14-1o17, 1969
DOBIE T.G. (1o4)	An evaluation of subjective cupulometry as a selection technique for use with potential air crew trainess. A paper presented at the Aerospace Medical Association Meeting, San Francisco, Ca., May 1969
DOTY R.L. (1o7)	The effect of duration of stimulus presentation upon the angular acceleration threshold of man. J.Exp. Psychol. In press
DUANE T.D. (191)	Experimental blackout and visual system. Aerospace Med. Sept. 1967
DULLY jr. F.E. (2o7)	Central nervous system involvement following Type I aviator's bends complicated by complacency. Aviat. Space Environ. Med. 46,9,1186-1187, 1975
DVORAK J. (61) CERNY V. FILSAKOVA B.	Illusions before the onset of unconsciousness in simulated flight. Aerospace Med. November 1967

EPSTEIN D.L. (183) Idiopathic central serous retinopathy
SHACKLETT D.E. (Choroidopathy) in flying personnel.
TREDICI T.J. Aerospace Med.43,11,1251, 1972
HOUCK R.J.

FAURE J. (87) de la genèse et de la signification des rhythmes
DROOGLEEVER-FORTUYN J. recueillis à distance dans les cas de tu-
GASTAUT H., LARRAMENDI H., meurs cerebrales. Elektroenceph. clin.
MARTIN P., PASSOUANT P., Neurophysiol.3: 429-434, 1951
REMOND A., TITECA J., WALTER W.G.

FLOURENS P. (131) Recherches experimentales sur les proprietes et les fonctions du systeme nerveux, ed 2. Paris: 1842

FROST J.D. (198) Sleep monitoring: the second manned Skylab mis-
SHUMATE W.H. sion Aviat. Space Environ Med. 47,4,372-382,1976
SALAMY J.G., BOOHER C.R.

GAGARIN J.A. (148) Unser Flug in den Kosmos, Berlin 1963
MELNIKOW, KOTYSCH

GASTAUT H. (83) Electrographic study of syncopal predisposition.
GIBSON C. Aerospace Med. 31,351, 196o

GAUER O. (194) The physiological effects of prolonged acceleration. German Aviation Medicine, World War II, U.S.Govt. Print. Office 1:554-584, 195o

GERATHEWOHL S.J.(157) Sensomotor performance during weightlessness:
STRUGHOLD H. eye-hand coordination.
STALLINGS H.D. J.Aviat.Med. 38:7, 1957

GLENN J. (82) Pioniere des Weltraums, das geistige und körperliche Training der Astronauten.

GORBOW F.D. (146) KUSNEZOW O.N. LEBEDEW W.J. Über die Modellierung sensorischer Störungen unter der Einwirkung kurzdauernder Schwerelosigkeit. Zeitschrift f. Neuropathol. und Psychiatrie, Jg., 1966

GORBUNOVA A.V. (27) PORTUGALOV V.V. Cytochemical investigations of proteins and RNA in spinal motoneurons and neurons of spinal ganglia of the rat after space flight. Aviat. Space Environ. Med. 47 (7): 7o8-71o, 1976

GOVOROVA A.V. (38) ALEXANDROVA A.V. TEPLOV S.J. Changes of ATPase brain activity and of erythrocytes under hypoxia. Questions of Med.Chem. 21: 23-26, 1975

GRAYBIEL A. (13) FREGLY A.R. A new Quantitative Ataxia Test Battery. In the Role of the Vestibular Organs in the Exploration of Space. Pg. 99, Nasa, SP-77, Washington 1965

GRAYBIEL A. (96) Vestibular sickness and some of its implications for spaceflight. In W.S. Fields and B.R. Alford, Neurological aspects of auditory and vestibular disorders. Thomas, 1964. Springfield, Ill.

GRAYBIEL A. (117) CLARK B. ZARRIELO J.J. Observations on human subjects living in a slow rotation room for periods of two days. Arch. of Neurology 3:77, 196o

GROEN J.J. (1o1) Problems of the semicircular canal from a mechanico-physiological point of view. Acta Oto-Laryng: Suppl. 163, 59-66, 1961

GROEN J.J. (1o5) JONGKEES L.B.W. The threshold of angular acceleration perception. J.Physiol. 1o7: 1, 1948

GROSE-VERNON L. (173) Deleterious effect on aeronaut capability of vestibulo-ocular disturbance during Spacecraft roll acceleration. Aerospace Med. 38,1138-1144, 1967

GÜTTICH H. (124) Über die Nystagmusschwelle bei der Drehung von
HAZEYAMA F. sitzenden und stehenden Normalpersonen und bei Einstellung der vertikalen Bogengänge in die Drehebene bei sitzenden Normalpersonen. Z.Laryng, Rhin. Otol. 46:86, 1967

HALE H.B. (164) Time zone entrainement and flight stressors as
HARTMANN B.O. interactants. Aerospace Med. 43, 1o89, 1972
HARRIS D.A., WILLIAMS E.W.,
MIRANDA R.E., HOSENFELD J.M.

HANLEY J. (199) Sleep and wake states in the Biosatellite III
ADEY W.R. Monkey: visual and computer analysis of telemetered electroencephalographic data from orbital flight. Aerospace Med. 42,3, pg 3o4, 1971

HAREL D. (217) Influence of desafferentation of the medical
CONFORTI N. basal hypothalamus on the sensitivity of the
LAVY S. brain to hyperbaric oxygen. Aerospace Med. 44, pg. 1223, 1973

HARPER C.R. (68) A study of simulated airline pilot incapacita-
KIDERA G.J. tion: Phase II. Subtle or partial loss of func-
CULLEN J.F. tion. Aerospace Med. 42,9, 1971

HARRISON G.A. (22o) dass. - Part II. Effects on lungs.
CORBETT R.L. Space Environ Med. pg. 52o, April 1975
KLEIN G. (vgl. Leon 219)

HARTMANN B.O. (163) Psychobiologic aspects of double-crew long-dura-
HALE H.B., HARRIS tion missions in C-5 aircraft. Aerospace Med. 45,
D.A., SANFORD III J.F. 1149, 1974

HASHI K. (8o) MEYER J.S. SHINMARU S., WELCH K.M.A., TERAURA T. Changes in cerebral vasomotor reactivity to CO_2 and autoregulation following experimental subarachnoid hemorrhage. J. Neurol. Sci 17:15-22, 1972

HAYMAKER W. (2o4) LOOK B.C., WINTER D.L. BENTON E.V., CRUTY M.R. The effect of cosmic particle radiation on pocket mice aboard Apollo XVII. 1. Project Biocore (M212), a biological cosmic ray experiment: procedures, summary and conclusions. Aviat. Space Environ Med. pg. 467-481, April 1975

HAYMAKER W. (2o6) ZEMAN W., TURNBILL C.E., CLAYTON R.K., BAILEY O.T., SAMORAJSKI T., VOGEL F.S., LLOYD B., CRUTY M.R., BENTON E.V., KRAFT L.M. The effect of cosmic particle radiation on pocket mice aboard Apollo XVII: XII. Results of examination of the calvarium, brain and mennings. Aviat. Space Environ. Med. pg. 613-625, April 1975

HENNING G.A. (172) Bericht "Er ist nie mehr so richtig auf die Erde zurückgekehrt", in Neue Revue No. 16, 124-129, 1978

HENRY J.P. (192) GAUER O., KETY S.S., KRAMER K. Factors maintaining cerebral circulation during gravitational stress. J.Clin.Invest, 3o: 292-3oo, 1951

HILDING A.C. (1o6) Studies on the otic labyrinth: III. On the threshold of minimum perceptible angular acceleration. Ann, Oto., Rhin. and Laryng. 62:5, 1953

HOLLENHORST R.W.(178) The ocular manifestation of internal carotid arterial thrombosis. M.Clin.North America 44, 897, 196o

HOWARD J.P. (1o8) Human spatial orientation. Wiley & sons,
TEMPLETON W.B. New York, N.Y. 1966

ICRP (2o1) ICRP Publication 9, First ed, London Pergamon Press, pg 1o-14, 1966

INNES L.G. (166) A subjective assessment of fatigue in transport aircrew AGARD Conf.Proc.No.74, 197o

INT (41) Interrogation of German personal interested in German Aviation Headquarters, U.S. Strategic AF in Europe, Office of Surgeon, Aeromedical Research Section, AAF 39o, APO 413, August 1945

JACKSON M.M. (137) Effect of weightlessness upon the normal ny-
SEARS C.W. stagmic reaction. Aerospace Med. Jul. 1966

JACOB F. (77) Regulation of gene activity. Regulatory Me-
MONOD M. chanismus of the cell. Moscow, 278-3o6

JAEGER E.A. (177) Perimetric and visual acuity changes during
WEEKS S.D., DUANE T.D. ophthalmodynamometry. A.M.A.Arch.of Ophth, 71, 484-488, 1964

JANET P. (126) The major symptoms of hysteria; fifteen lectures given in the Medical School of Harvard University by Pierre Janet. New York: The Macmillan Company, 192o, p. 1o1

JASPER H. (88) Interrelationship between cortex and subcortical
VAN BUREN J. structures: clinical electroencephalographic studies. Electroenceph.clin.Neurophysiol.Suppl. 4:168-188, 1953

JEGOROW B.B. (144) Wichtige Experimente im Kosmos. Luftfahrt und Kosmonautik, Jg. 1964, Nr.12

JONES J.H. (92) Equilibrium and Vertigo, Lippencott, New York, 1918

JOHNSON W.H. (1o2)	Secondary etiological Factors in the causation of motion sickness. In A. Graybiel (Ed.), Fourth Symposium on the role of the vestibular organs in space exploration (NASA SP-187) Pensacola,Flor.: Naval Aerospace Medical Inst., 1968
JUGANOV E.M. (14o)	Vestibular reactions of cosmonauts during the flight in the "Voskhod" spaceship. Aerospace Med. 37, 691,1966
JUGANOW (128) KASJAN, GUROWSKI, KONOWALOW, JAKUBOW, JASELOWSKI	Die sensorischen Reaktionen und der Zustand der willkürlichen Bewegungen unter den Bedingungen der Schwerelosigkeit. Mitteil.d.Akad.d.Wiss.d. UdSSR, Ser.Biologie, Jg. 1961, Nr.6.
JUGANOW J.M. (147) KASJAN J.J. ASSJAMOLOW B.F.	Die bioelektrische Aktivität der Skelettmuskulatur unter den Bedingungen der abwechselnden Wirkung von Überbelastung und Schwerelosigkeit. Mitteil.d.Akad.d.Wiss.d.UdSSR, Ser.Biologie, Jg. 1963
KAKURIN L.J. (28) CHEREPAKHIN M.A. PERVUSHIN V.J.	Effects of space flight factors on the muscle tone of man. Kosm.Biol.Med. 5:63-68, 1971
KAKURIN L.J. (29)	Biomedical investigations in Sojuz space flights Vestnik ANSSSR 2:3o-39, 1972
KASYAN J.J. (3o) KOPANEV V.J. CHEREPAKHIN M.A. YUGANOV E.M.	Motor activity in the weightless state. in Weightlessness Moscow, 218-237, 1974

KHILOV K.L. (93) Functions of the vestibular analyzer in connection with spaceflight. Vestnik Otorinolaringologii 4:8-17, 1967

KIDERA G.J. (57) Cerebral dysfuntion as a cause of pilot failure
HARPER C.R. during training or operational flight. Aero-
CULLEN J.F. space Med. 42 (5): 559-563, 1971

KING W.H. (46) Electroencephalogramm and Aerospace Safety.
LISKE E. Aerospace Med. 45 (1), 1974

KITAJEW-SMYK L.A.(143) Der Mensch in der Schwerelosigkeit. Wissenschaft und Leben, Jg. 1964, Nr. 9

KLEIN K.E. (165) Desynchronization of body temperature and per-
WEGMANN H.M. formance circadian rhythm as a result of out-
HUNT B.J. going and homegoing transmeridian flights,
Aerospace Med. 43: 119, 1972

KLEIN K.E. (167) Circadian rhythm of pilots efficiency and ef-
BRUNER H., fects of multiple time zone travel.
HOLTMANN H., Aerospace Med. 41, 125, 197o
REHME H., STOLZE J.,
STEINHOFF W.D., WEGMANN H.M.

KLEIN K.E. (168) Psychological and physiological changes caused
BRUNER H., by desynchronization following transzonal air
GUNTHER E.,Jovy D., travel. In W.P.Colguhuon Aspects of human effi-
MERTENS J.,RIMPLER ciency: The diurnal rhythm and loss of sleep.
A., WEGMANN H.W. London, English Universities Press, 1972

KOLOSSOW (13o) Die Drehprobe als Methode zur Aufklärung laten-
TSCHEKIDRA ter Formen von Luftkrankheit. IN "Probleme der
LEBEDEW, kosmischen Medizin" (Beiträge der Konferenz vom
CHLEBNIKOW, 24.-27. Mai 1966)
KASJAN Moskau 1966

KRAFT L.M. (2o5) The effect of cosmic particle radiation on
VOGEL F.S. pocket mice aboard Apollo XVII: IX. Results
LLOYD B. of examination of the nasal mucosa. Aviat.
BENTON E.V. Space Environ. Med. pg. 561-581, April 1975
CRUTY M.R., HAYMAKER W., LEON H.A.,
BILLINGHAM J., TURNBILL C.E., TEAS V.,
LOOK B.C., SURI K., MIQUEL J., ASHLEY W.W.,
BEHNKE jr. A.R., SAMORAJSKI T.,
BAILEY O.T., ZEMAN W.

KRASNOV I.B. (26) Quantitative cyto- and histochemical studies of the Deiters nucleus and nodular cortex of cerebellum in rats exposed to weightlessness. Aviat.Space Environ. Med. 46 (9) 1119-1122. 1975

KRASNOV J.B. (35) Quantitative histochemistry of the vestibular cerebellum of the fish Fundulus heteroclitus flown aboard the Biosatellite Cosmos 782. Aviat. Space Environ.Med. 48 (9): 8o8-811, 1977

KUHLMANN R.E. (24) Quantitative histochemical changes during the
LOWRY O.H. development of the rat cerebral cortex. J.Neurochem.1: 173-18o, 1956

KUSNEZOW O.N. (149) Zur Frage der Pseudopsychopathologie unter den
LEBEDEW W.J. Bedingungen einer langdauernden Isolierung mit relativer sensorischer Deprivation; Zeitschr. f.Neuropathol. und psychiatrie, Jg. 1965

LAMB L.E. (91) Incidence of loss of consciousness in 198o Air
GREEN H.C. Force personnel. Aerospace Med. 31:973, 196o
COMBS J.J.,
CHEESMAN S.A., HAMMOND J.

LAVERNHE J. (66) BLANC C. LAFONTAINE E. — Epilepsy and medical examinations of flight personnel, importance and difficulty of diagnosis. Aerospace Med. 42 (8), 1971

LAVERNHE J. (223) — Wirkungen der Zeitverschiebung in der Luftfahrt auf das Flugpersonal. Münch.med.Wschr. 112, 1746, 197o

LAVY S. (218) SHOHAM H.,HAREL D. — Sensitivity of the brain to repeated exposures to hyperbaric oxygen. Aerospace Med.44,254,1973

LEACH C.S. (33) JOHNSON P.C. DRISCOLL T.B. — Prolonged weightlessness effect on postflight plasma thyroid hormones. Aviat.Space Environ. Med. 48 (7):595-597, 1977

LEIGHTON-WHITE R.C.(63) — Airline incapacitation in flight, Aerospace Med. 43 (6), 1972

LEON H.A. (219) SURI K., TIGUE M.Mc., SMITH J., COOPER W., MIGUEL J., ASHLEY W.W., BEHNKE jr.A.R., SAUNDERS J.F., — The effects of cosmic particle radiation on pocket mice aboard Apollo XVII:V. Preflight studies on tolerance of pocket mice to oxygen and heat-Part I. Physiological studies. Aviat.Space Environ Med. pg.514, April 1975

LEVY L. (94) — Vestibular reactions in 541 aviators. JAMA 72: 716-72o, 1919

LEWIS S.T. (2o8) — Decompression sickness in USAF operational flying, 1968-1971. Aerospace Med. 43,11, 1261-1264, 1972

LISKE E. (214) CROWLEY jr. W.J., LEWIS J.A. — Altitude decompression sickness with focal neurological manifestations. Aerospace Med. March 1967, pg. 3o4-3o6

LOMONACO T. (187) — Il fenomeno del "Break-off" in Italia. Riv.Med. Aeron. 21:236-242, 1958

MANZWETOWA A.J. (152) Untersuchung der Handschrift. Aus "Der zweite
ORLOWA W.F., kosmische Gruppenflug und einige Schlußfolge-
TRUBNIKOWA W., rungen aus den Flügen sowjetischer Kosmonauten
FREJDBERG, NEUMWAKIN aus der Raumschiffserie "Wostok", Moskau 1965

MAULSBY R.L. (232) Electroencephalogram during orbital flight. Aerospace Med. 37, 1o22-1o26, 1966

MONEY K.E. (97) Motion sickness. Physiolog.Rev.5o:1-39, 197o

MONTANDON A. (12) L'epreuve giratoire liminaire dans les traumatismes craniens, Confinia Neurol. Basel 16:197, 1955

MONTANDON A. (121) A new technique for vestibular investigation. Acta Oto-laryng.Stock. 39:5o4, 1954

MOSKALENKO Yu.E.(2o) Dynamics of the blood volume of brain under normal conditions and during gravitational loads. Nauka (Russ.) Leningrad, 1967

MOSKALENKO Yu.E.(21) Intracranial circulation under the conditions
WEINSTEIN G.B. of gravitation and weigthlessness. Medicina,
KASYAN J.J. Moscow, 1971

MOSKALENKO Yu.E.(22) The rheographic evaluation of the cerebral cir-
WEINSTEIN G.B. culation in space flight. 22nd Congress of Aero-
KASYAN J.J. space Medicine, Beirut 1974
ASANOV H.H., SEMERNJA V.N.

MOSKALENKO Yu.E.(78) Investigation of human cerebral circulation in
WEINSTEIN G.B. space flight conditions. Aviat Space Environ.
SEMERNJA V.N. Med. 46,8:1o23-1o26, 1975

MOSKALENKO Yu.E.(79) Stability of the intracranial circulation in an
WEINSTEIN G.B. altered gravitational field. Aerospace Med. 45,
ZELIKSON B.B. 8:86o-863, 1974
IVANOVA T.J.
KISLYAKOV Yu.Ya.

MUNSON H.G. (74) USAF inflight hypoxia experience Jan 1963 - Jun 197o, Life sciences portion of the flying Safety Officer's Study Kit, Aug.-Sept. 1971

MYASNIKOW V.I. (23o) Characteristics of the sleep of men in simulated space flight. Aviat.Space Environ Med.46,4, 4o1-4o8, 1975

NEWSOM B.D. (15) BRADY J.F. Orientation and habituation in a manned revolving space station simulator. XV. Internat.Cong.Aviat. and Space Med, Prague, Czech, Sept. 1966

NEWSOM B.D. (116) BRADY J.F. A comparison of performance involving head rotations about Y and Z cranial axes in a revolving space station simulator. Aerospace Med. 37:1152, 1966

NEWSOM B.D. (119) BRADY J.F. O'LAUGHLIN T.W. Optokinetic reflex responses to cross-coupled gyroscopic stimuli. Aerospace Med. 4o,5, 5o9-517, 1969

NICHOLSON A.N. (161) HILL L.E., BORLAND R.G., FERRES H.M. Activity of the nervous system during the let-down, approach and landing: A study of short duration high workload. Aerospace Med. 41,4, 436, 197o

NICHOLSON A.N. (2o9) ERNSTING J. Neurological sequelae of prolonges decompression. Aerospace Med. pg. 389, April 1967

NICHOLSON A.N. (228) Duty hours and sleep patterns in aircrew operating worldwide routes. Aerospace Med. 43:138-141, 1972

NICHOLSON A.N. (229) Rest and activity patterns for prolonged extra-terrestrial missions. Aerospace Med. 43,3 , 253-257, 1972

OBERHOLZ H.J. (47)	EEG criteria for flying fitness applied by the
KUGLER J.	German Air Force Institute of Aviation Medicine.
JESSBERGER W.	Space Environ. Med. 46 (2):194-198, 1975
OBERHOLZ H. (7o)	Tetany predisposition as a risk factor in pilots.
MANZ F.	Aerospace Med. 44,1o, 1973
OOSTERVELD W.J.(133)	Effect of gravity on positional alcohol nystag-
	mus (PAN), Aerospace Med. 41,5,557, 197o
PANKOVA A.S. (32)	Morphology of kidneys and neurosecretory sub-
PODYMOV V.K.	stance of the posterior pituitary of rats after
SAVINA E.A.	their many-hour exposureto acceleration. Kos-
	micheskaya Biologia i Medizina 3:21-26, 197o
PAULEY S.M. (216)	Role of lipids in decompression sickness, Aero-
COCKETT A.T.K.	space Med. 41,1,56-6o, 197o
PETERS J. (153)	Study of sensory deprivation, pain and persona-
BENJAMIN F.B.	lity. Relationships for space travel.
HELVEY W.M.	Aerospace Med. Sept. 1963
ALBRIGHT G.A.	
PETRIE A. (154)	Pain sensitivity, sensory deprivation and sus-
COLLINS W.	ceptibility to satisfaction. Science, 128:1431,
SOLOMON P.	1958
PETRIE A. (155)	The tolerance for pain and for sensory depriva-
COLLINS W.	tion. Amer.J.Psychol. 123:8o, 196o
SOLOMON P.	
PHILPOTT D.E.(221)	dass-Part III. Effects on eyes. Aviat. Space
CORBETT R.L.	Environ Med. pg 524, April 1975
BLACK S.,	(vgl. Leon 219)
TAKAHASHI A.	
LEAFFER D.	

PIALOUX P. (141) Vestibular habituation in flightcrew. Aviat.
FONTELLE P. Space Environ. Med. 47,3:302, 1976
COURTIN P.H., GIBERT A.
ROBERT P., BLANC P., LAFONTAINE E.

POLYAKOV B.J. (103) Relationship between the thresholds of cupular-
MATVEYEV A.D. endo-lymphatic system response and man's Tole-
rance to motion sickness. Cosmic Biol.Med. 5:
33-38, 1971

POMPEIANO O. (135) Vestibular influences during sleep. Arch.Ital.
MORRISON A.R. Biol. 103:569-595, 1965

PRESTON F.S. (231) Effect of time zone changes on the sleep pat-
BATEMAN S.C. terns of BOAC B.707 crews on world-wide sche-
dules. Aerospace Med. 41,12,1409-1415, 1970

PUISTER G.H. (45) The electroencephalogram in selection of flying
personnel. Aeromedica Acta 7:123, 1959

RABOUTET J. (65) Sudden incapacity in flight of professional pi-
RABOUTET P. lots in French civil aviation 1948-1972.
Aviat. Space Environ. Med. 46,1, 1975

RAICHLE M.E. (69) Functional hypoglycemia: A potential cause of
KING W.H. unconsciousness in flight. Aerospace Med. 43,1,
1972

RAYMANN R.B. (59) Inflight loss of consciousness.
Aerospace Med. 44 (6): 679-681, 1973

RAYMANN R.B. (64) Sudden incapacitation in flight, 1.Jan.1966 -
30.Nov.71. Aerospace Med. 44 (8), 1973

REASON J.T. (100) An investigation of some factors contributing to
individual variation in motion sickness suscepti-
bility. London: Ministery of Defense, Flying Per-
sonnel Research Committe (FPRC/1277), March 1968

RICHTER P.L. (52) Electroencephalogramms of 2947 United States
ZIMMERMANN E.A. Air Force Academy cadets (1965-1969).
RAICHLE M.E. Aerospace Med. 42 (9) 1971
LISKE E.

RICHTER P.L. (73) Aeromedical consultation service case report:
WATSON C.F. hysterical neuroses with syncopal or epileptiform
CARIS T.N. symptoms. American psychiatric classification
3oo. 1.Aerospace Med. 41,9, 197o

ROBINS E. (25) Quantitative histochemical studies of the mor-
LOWE I.P. phogenesis of the cerebellum.I.Total lipid and
four enzymes. J.Neurochem. 8:81-95, 1961

ROSSBERG (122) Kopfstellung und Ergebnis der Vestibularprüfung.
Arch.Ohr-,Nas.-,Kehlk.,hk,Berlin 178:411, 1961

ROSSBERG G. (123) Experimentell-vestibulärer Nystagmus und zentrale
Koordination. Arch.Ohr-,Nas.-,Kehlk.,hk, Berlin
179:567, 1962

RUFF S. (5) Grundriß der Luftfahrtmedizin, 3. Aufl.
STRUGHOLD H. (1957)

RYBACK R.S. (114) Motion sickness in USAF flying personnel. Aero-
RUDD R.E., MATZ G.J., space Med. 41,6, 672-677, 197o
JENNINGS C.L.

RYBACK R.S. (134) Aftereffects of various alcoholic beverages on
DOWD P.J. positional nystagmus and Coriolis acceleration.
Aerospace Med. 41,4,429, 197o

SAVINA E.A. (31) Morphological manifestations of functional changes
PANKOVA A.S. in the hypothalamic-pituitary neurosecretory sy-
ALEKSEYEV E.J. stem and kidneys of rats after space flight.
PODYMOV V.K. Aviat.Space Environ.Med. 47 (8): 853-855, 1976

SEIPEL J.H. (58) WENTZ A.E. Unsuspected neurologic disease in aviation personnel: Survival following seizures in flight I, Aerospace Med. 6, 1963

SEIPEL J.H. (75) WENTZ A.E. Unsuspected neurologic disease in aviation personnel: Survival following seizures in flight II, Aerospace Med. 6, 1963

SEM-JACOBSEN C.W.(7) Airborne EEG recording as a Means of studying and selecting Pilots and Crews in High Performance Aircraft and Space Vehicles, J.Aviat.Med. 3o,2o2 (1959)

SEM-JACOBSEN C.W.(8) SEM-JACOBSEN I.E. Selection and Evaluation of Pilots for High Performance Aircraft and Spacecraft by inflight EEG study of Stress Tolerance, Aerospace Med. 34, 6o5-6o9, (1963)

SEM-JACOBSEN C.W.(43) Airborne EEG recording as a means of studying and selecting pilots and crews in High Performance Aircraft and Space vehicles. J.Aviat.Med. 3o,2o2, 1959

SEM-JACOBSEN C.W.(44) SEM-JACOBSEN I.E. Selection and evaluation of pilots for High Performance Aircraft and spacecraft by inflight EEG study of stress tolerance. Aerospace Med. 34, 6o5-6o9, 1963

SHEFFIELD P.J.(18o) DAVIS J.C. Application of hyperbaric oxygen therapy in a case of prolonged cerebral hypoxia following rapid decompression. Aviat.Space Environ Med. 47,7,759-762, 1976

SMALL J.G. (89) KOVI K.A., BAGCHI B.K.A. Electroclinical profile of 117 deep cerebral tumors. Electroenceph.clin.Neurophysiol.13: 193-2o7, 1966

SOLOWJOWA P. (15o) Die Dynamik der Arbeitsfähigkeit und des Ar-
GAMBASCHIDSE G.M. beitsrhythmus physiologischer Funktionen bei Personen, die lange Zeit ausschließlich nachts arbeiten. Fragen der Arbeitsphysiologie 3.Wiss.Konf.Vortragsthesen. Moskau 196o

SOURS J.A. (189) The break-off phenomenon, a precipitant of anxiety in jet aviators. Arch.Gen.Psychiat. 13:447-456, 1965

STAPLEFORD R.L.(11o) Experiments and a model for pilot dynamics with
PETERS R.A. visual and motion inputs. NASA, Washington, D.C.,
ALEX F.R. NASA CR-1325, 1969

STAPP J.P. (196) Human tolerance to deceleration. Aviat Med. 22, 42, 1951

STRUGHOLD H. (1) Development for Aviation Medicine in Germany (195o)

STRUGHOLD H. (4) Geschichtliches zur Luftfahrtmedizin

STRUGHOLD H. (6) Zur Frage der Höhenkrämpfe, Luftfahrtmed. Abhandlg. Bd.I 1936/37, Bd.II 1938

STRUMWASSER F. (227) Neurophysiological aspects of rhythm. In G. Quarton: The neurosciences, the Rockefeller University Press, N.Y. 1967

STSCHERBAKOWA O.P.(151) Experimentelle Untersuchung des Rhythmus physiologischer Funktionen bei Affen. In Erfahrungen beim Studium periodischer Veränderungen physiologischer Funktionen im Organismus. Moskau 1949

TEJADA R.I. (2oo) Analysis of 1o minutes of physiological data
HAHN P.M.,ADEY W.R. from the Biosatellite III from lift-off to or-

bital insertion. Aerospace Med. 42,3, pg 281, 1971

Th (118) The role of the vestibular organs in the exploration of space, U.S. Naval School of Aviation Medicine, Pensacola, Florida, January 2o-22, 1965, NASA SP 77

THORNER M. (9) Relation between the EEG and Flying Ability.War.
GIBBS F.A. Med. 2,55 (1942)
GIBBS E.L.

THORNER M.W. (4o) Relation between the electroencephalogram and
GIBBS F.A. flying ability. War Medicine, 2:55, 1942
GIBBS E.L.

TOBIAS C.A. (19o) Visual phenomena induced by cosmic rays and ac-
BUDINGER T.F. celerated particles
LEITH J.T.
MAMOON ABDEL-MEGID
CHAPMAN P.

TYLER D.B. (95) Motion sickness. Physiol.Rev. 29:311-369, 1949
BARD P.

USHAKOV A.S. (34) Some aspects of energy metabolism in human blood
IVANOVA S.M. erythrocytes under hypokinesia and during space
BRANTOVA S.S. flights. Aviat.Space Environ. Med. 48(9), 1977

VALYAVSKI Y. (23) Some compensation reactions during extended weightlessness. Paper presented at the Third International Symposium on the Basic Environmental Problems of Man in Space, Geneva, Switzerland 15-19 Nov. 1968. NASA TT-E-12o94, National Aeronautics and Space Administration, Washington D.C., January 1969

VOLYNKIN Yu.M. (16) Preliminary date on physiological studies
PARIN, YAZDOVSKI during human flight in space. Problems of Space Biology, Vol. N.M.Sisakyan & J.J.Yazdovsky eds 1962, JPRS 18,395, Joint-Publications Research Service Washington D.C. 1964, pp. 5-8

VOLYNKIN Y.M. (98) Sóme results of medical studies conducted during
VASIL'YEV P.V. the flight of the "voskhod". In N.M.Sisakyan (Ed.) The problems of space biology, VI, NASA TT-F-528, National Aeronautics and Space Administration, Washington, D.C., July 1969

WALTER W.G. (9o) Electroencephalography in cases of subcortical
DOVEY V.J. tumor. J.Neurol.Neurosurg.Psychiat. 7:57:65, 1944

WALTER D.O. (233) Electroencephalographic baselines in astronaut
KADO R.T. candidates estimated by computation and pattern
Rho J.M. recognition techniques. Aerospace Med. 371-379, April 1967

WEIGHLIN E. (234) Ophthalmodynamometry. Hafner Publ.Co., New York, 1963

WELTZ G.A. (3) Aus der Geschichte der Luftfahrt

WHITE W.J. (195) Visual performance in gravitational stress. In Gravitational Stress in Aerospace Medicine, Little Brown Co, pg. 7o-89, Boston 1961

WHITESIDE T.C.D.(158) Hand-eye coordination in weightlessness. Aerospace Med. 32:719, 1961

WILLIAMS D. (76) The significance of an abnormal electroencephalogram. J. Neurolog.Psychiat. 4:257-268, 1941

WOLFE W. (136) Effects of sleep deprivation on the vestibulo-
BROWN J.H. ocular reflex, Aerospace Med. 39,947, 1968

WOOD C.D. (115) KENNEDY R.E. GRAYBIEL A. TRUMBULL R., WHERRY R.J. Clinical effectivness of antimotion-sickness drugs. JAMA 1o8:1155-1158, 1966

YOUNG L.R. (111) Some effects of motion cues on manual tracking. J.Spacecr. Rockets 4:13oo-13o3, 1967

YOUNG L.R. (113) OMAN C.M. DICHGANS J.M. Influence of head orientation on visually induced pitch and roll sensation. Aviat. Space Environ. Med. 46,3,264-268, 1975

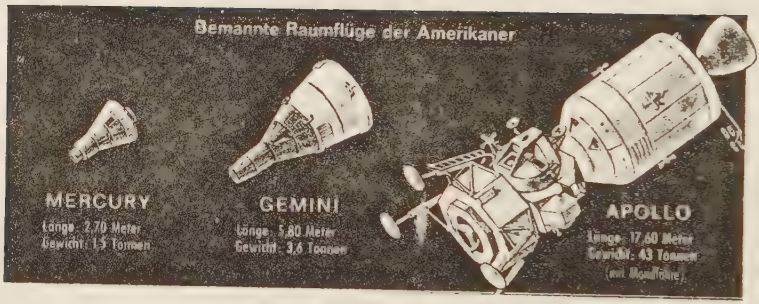
YUGANOV Y.M. (99) Physiological reactions in weightlessness. In V.V.Parin (Ed.), Aviation and Space Medicine, NASA TT-F-228, National Aeronautics and Space Administration, Washington, D.C., December 1964

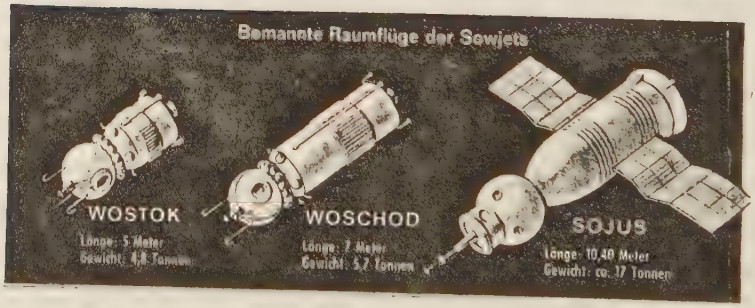
ZIMMERMANN G.S.(127) Klinische Otoneurologie, Moskau, 1952

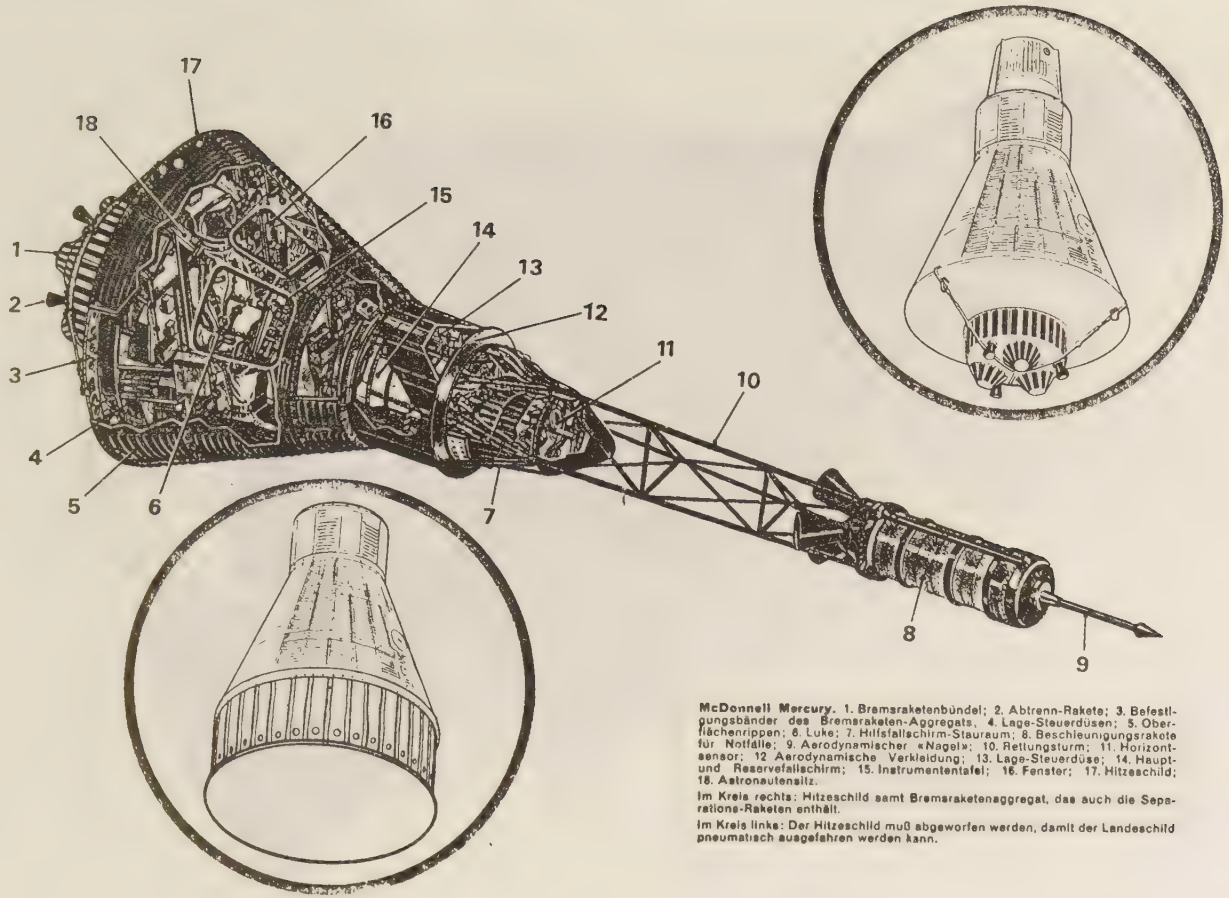
ZIOLKOWSKI K.E.(129) Arbeiten zur Raketentechnik, Moskau 1947

ZIOLKOWSKI K.E.(145) Der Weg zu den Sternen, Moskau 196o

O.G.Gasenko (235), N.N.Gurovskii, A.D.Egorov, A.V.Beregovkin, V.A.Degtyarev, V.V.Kalinichenko, I.I.Kasyan
Preliminary medical results of Saljut-6 manned missions
International Astronautical Federation (I.A.F.), XXXth Congress, Munich, 16-22 September 1979


Bemannte Raumflüge der Amerikaner
MERCURY
Länge: 2,70 Meter
Gewicht: 1,5 Tonnen
GEMINI
Länge: 5,80 Meter
Gewicht: 3,6 Tonnen
APOLLO
Länge: 17,60 Meter
Gewicht: 43 Tonnen
(mit Mondfähre)

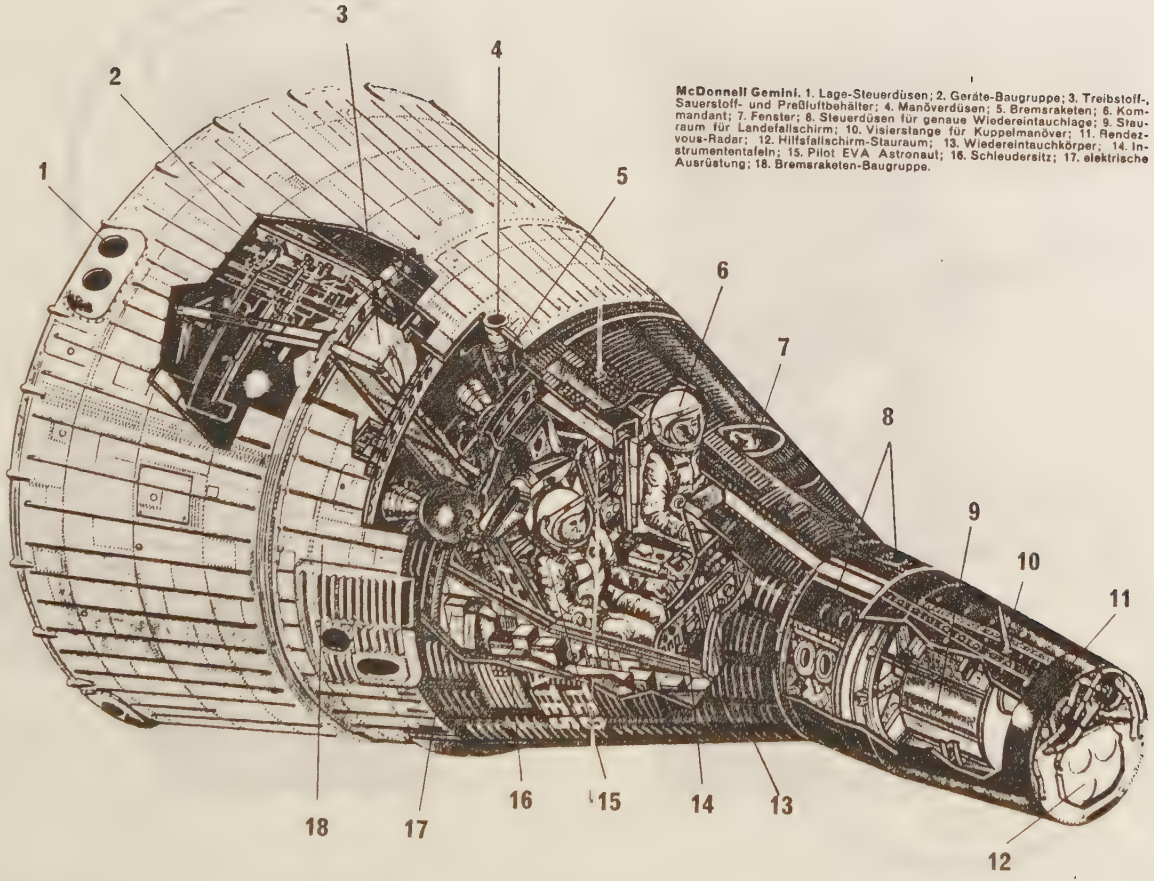

Bemannte Raumflüge der Sowjets
WOSTOK
Länge: 5 Meter
Gewicht: 4,8 Tonnen
WOSCHOD
Länge: 7 Meter
Gewicht: 5,7 Tonnen
SOJUS
Länge: 10,40 Meter
Gewicht: ca. 17 Tonnen



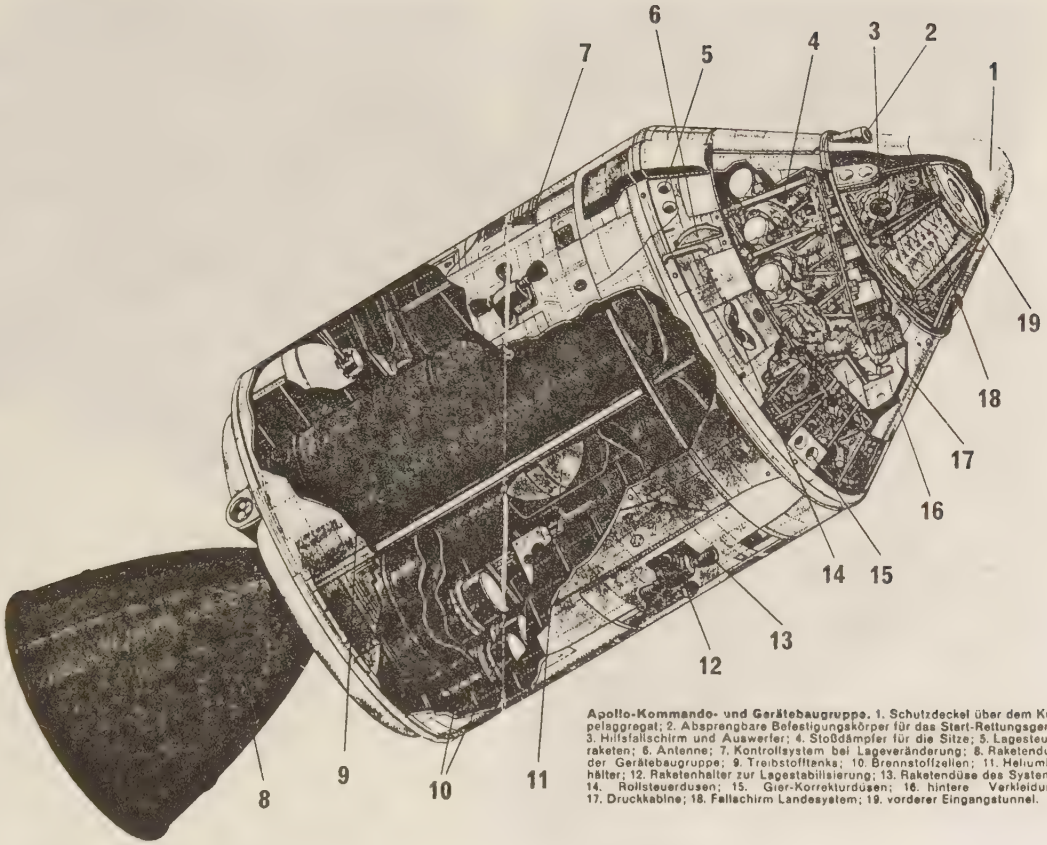
McDonnell Mercury. 1. Bremsraketenbündel; 2. Abtrenn-Rakete; 3. Befestigungsbänder des Bremsraketen-Aggregats, 4. Lage-Steuerdüsen; 5. Oberflächenrippen; 6. Luke; 7. Hilfsfallschirm-Stauraum; 8. Beschleunigungsrakete für Notfälle; 9. Aerodynamischer «Nagel»; 10. Rettungsturm; 11. Horizontsensor; 12 Aerodynamische Verkleidung; 13. Lage-Steuerdüse; 14. Haupt- und Reservefallschirm; 15. Instrumententafel; 16. Fenster; 17. Hitzeschild; 18. Astronautensitz.

Im Kreis rechts: Hitzeschild samt Bremsraketenaggregat, das auch die Separations-Raketen enthält.

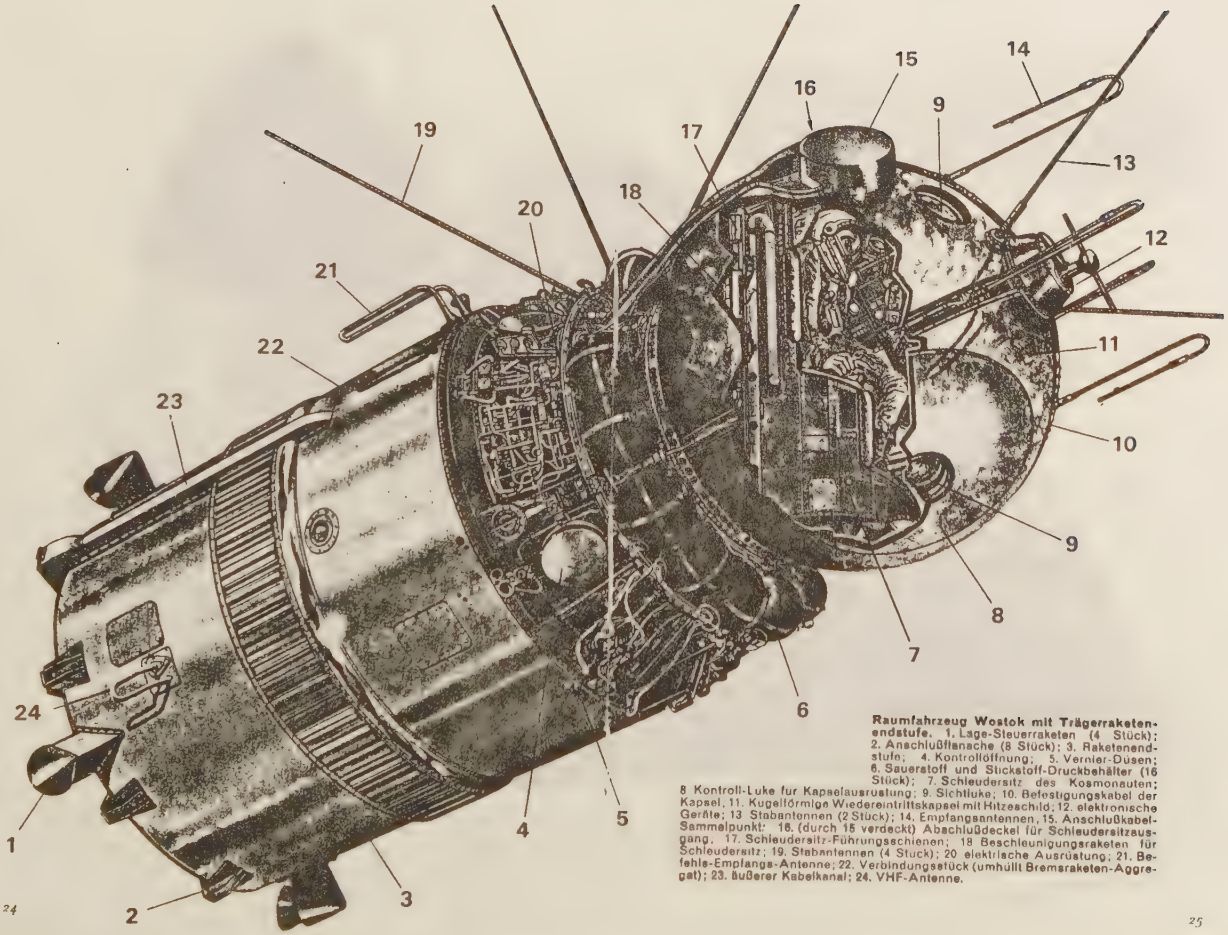
Im Kreis links: Der Hitzeschild muß abgeworfen werden, damit der Landeschild pneumatisch ausgefahren werden kann.



McDonnell Gemini. 1. Lage-Steuerdüsen; 2. Geräte-Baugruppe; 3. Treibstoff-, Sauerstoff- und Preßluftbehälter; 4. Manöverdüsen; 5. Bremsraketen; 6. Kommandant; 7. Fenster; 8. Steuerdüsen für genaue Wiedereintauchlage; 9. Stauraum für Landefallschirm; 10. Visierstange für Kuppelmanöver; 11. Rendezvous-Radar; 12. Hilfsfallschirm-Stauraum; 13. Wiedereintauchkörper; 14. Instrumententafeln; 15. Pilot EVA Astronaut; 16. Schleudersitz; 17. elektrische Ausrüstung; 18. Bremsraketen-Baugruppe.



Apollo-Kommando- und Gerätebaugruppe. 1. Schutzdeckel über dem Kuppelaggregat; 2. Absprengbare Befestigungskörper für das Start-Rettungsgerät; 3. Hilfsfallschirm und Auswerfer; 4. Stoßdämpfer für die Sitze; 5. Lagesteuerraketen; 6. Antenne; 7. Kontrollsystem bei Lageveränderung; 8. Raketendüse der Gerätebaugruppe; 9. Treibstofftanks; 10. Brennstoffzellen; 11. Heliumbehälter; 12. Raketenhalter zur Lagestabilisierung; 13. Raketendüse des Systems; 14. Rollsteuerdüsen; 15. Gier-Korrekturdüsen; 16. hintere Verkleidung; 17. Druckkabine; 18. Fallschirm Landesystem; 19. vorderer Eingangstunnel.



Raumfahrzeug Wostok mit Trägerraketen-endstufe. 1. Lage-Steuerraketen (4 Stück); 2. Anschlußflansche (8 Stück); 3. Raketenend-stufe; 4. Kontrollöffnung; 5. Vernier-Düsen; 6. Sauerstoff und Stickstoff-Druckbehälter (16 Stück); 7. Schleudersitz des Kosmonauten; 8 Kontroll-Luke für Kapselausrüstung; 9. Sichtluke; 10. Befestigungskabel der Kapsel; 11. Kugelförmige Wiedereintrittskapsel mit Hitzeschild; 12. elektronische Geräte; 13 Stabantennen (2 Stück); 14. Empfangsantennen, 15. Anschlußkabel-Sammelpunkt; 16. (durch 15 verdeckt) Abschlußdeckel für Schleudersitzaus-gang. 17. Schleudersitz-Führungsschienen; 18 Beschleunigungsraketen für Schleudersitz; 19. Stabantennen (4 Stück); 20 elektrische Ausrüstung; 21. Befehls-Empfangs-Antenne; 22. Verbindungsstück (umhüllt Bremsraketen-Aggregat); 23. äußerer Kabelkanal; 24. VHF-Antenne.

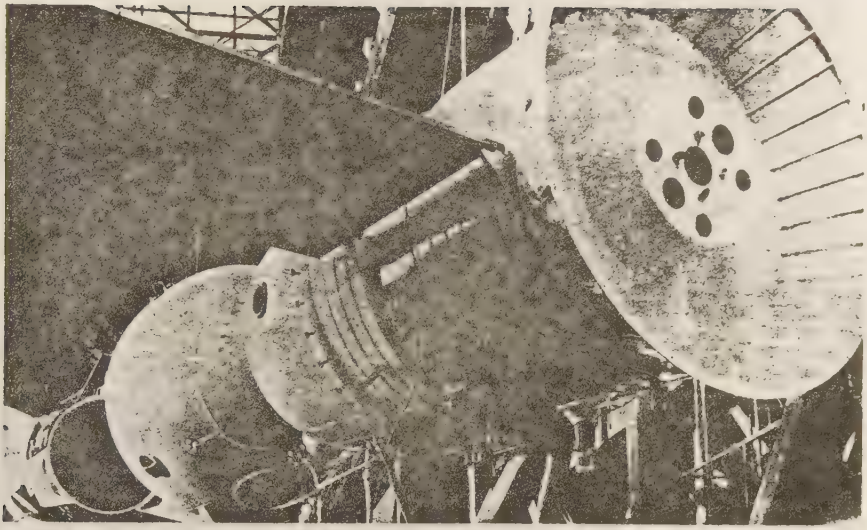
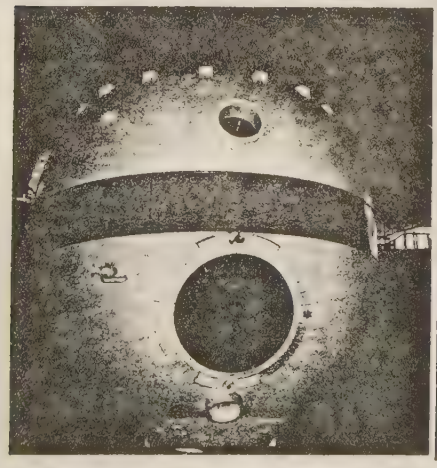


Bild 1 ▲ ▼ Bild 2



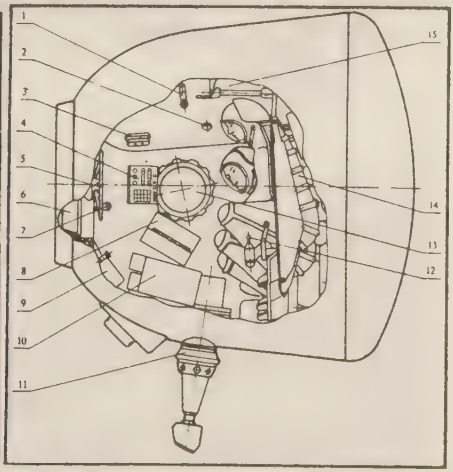


Bild 1 Das Sojus-Raumschiff ist rund 7,5 m lang. Der maximale Durchmesser beträgt 2,72 m, der Durchmesser der bewohnten Komponenten 2,2 m, das „Wohnvolumen" etwa 10 m³ und die Spannweite der Solarzellenflächen 8,37 m. Je nach Einsatzziel liegt die Startmasse zwischen 6 450 und 6 680 kg. Von links: Bahnsektion, Besatzungskabine und Versorgungseinheit mit Panel.

Bild 2 Orbit-Sektion (Bahnsektion) des sowjetischen Raumschiffes Sojus.

Bild 3 Sojus-Kommandoeinheit. 1 tragbare Lichtquelle, 2 Lautsprecher, 3 Arbeitsbeleuchtung, 4 Kommando- und Signalvorrichtung, 6 Lukendeckel mit Verschlußrad (5), 7 Lampe, 8 Signalpult, 9 Fernsehkamera, 10 Instrumentenkonsole, 11 Periskop, 12 Steuerknüppel, 13 Bullauge, 14 Kosmonautenliege, 15 Fallschirmbehälter. Die Kabinenatmosphäre: 17–33% Sauerstoff, 82–66% Stickstoff bei 0,98 bar Innendruck und 18–25 °C Raumtemperatur

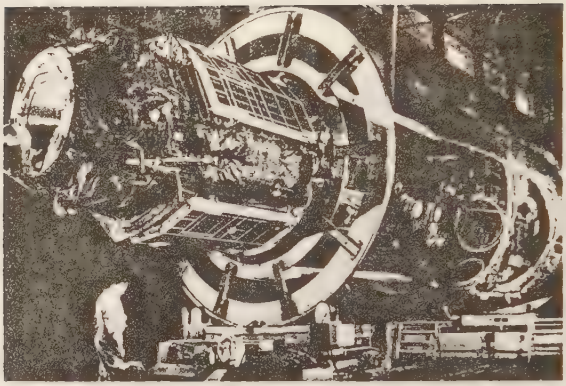


Bild 1 Außenansicht der experimentellen sowjetischen Raumstation Saljut. Links sind die zusammengeklappten und angelegten Solarzellenträger für die Energieversorgung zu erkennen.

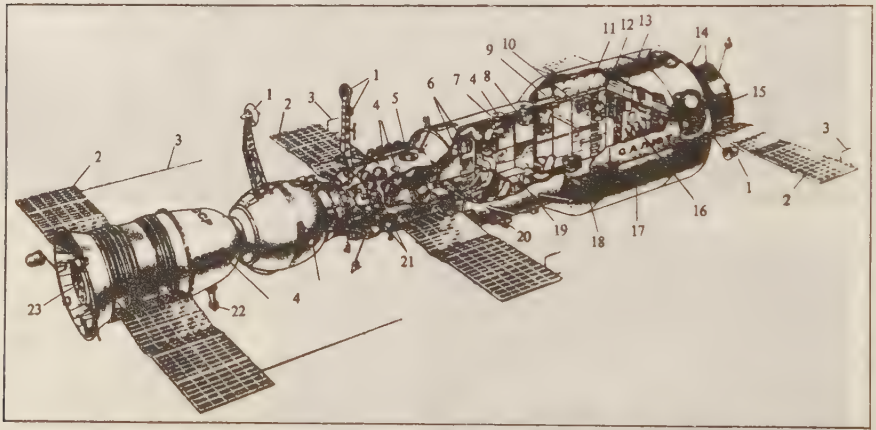


Bild 2 Raumflugsystem Sojus-Saljut der UdSSR. Abweichend von dieser Zeichnung besaßen Saljut 4 und 5 drei „Sonnenpaddel" am zweiten Zylinder (s. auch Bild 3). Es bedeutet 1 Rendezvousantennen; 2 Sonnenzellen; 3 Telemetrieantennen, 4 Bullaugen; 5 Sternteleskop; 6 Lufterneuerungsanlage; 7 Filmkamera; 8 Photokamera; 9 Biologische Anlage, 10 Kühlschrank; 11 Schlafliege; 12 Wasserbehälter; 13 Abfälle, 14 Saljut-Triebwerke; 15 Treibstofftanks; 16 Sanitäranlagen; 17 Meteoriten-Meßfläche; 18 Laufband; 19 Arbeitstisch, 20 Steuerungspult; 21 Druckgasbehälter; 22 Sojus-Periskop; 23 Sojus-Triebwerke.

Tabelle 1: Abmessungen der Saljut-Abteilungen.

Saljut-Teil	Durchmesser [m]	Länge [m]
Umsteigetunnel	2,0	3
Wohnraum	2,95	3,8
Arbeitsraum	4,15	4,10
Triebwerkseinheit	2	2

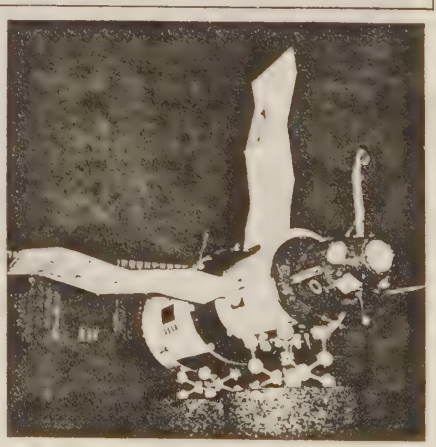


Bild 3 Modell von Saljut 4 mit voll entfalteten Solarpanel.

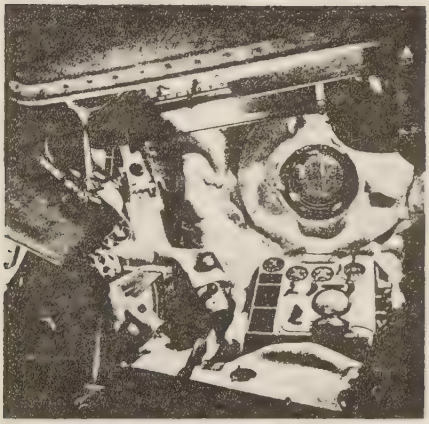
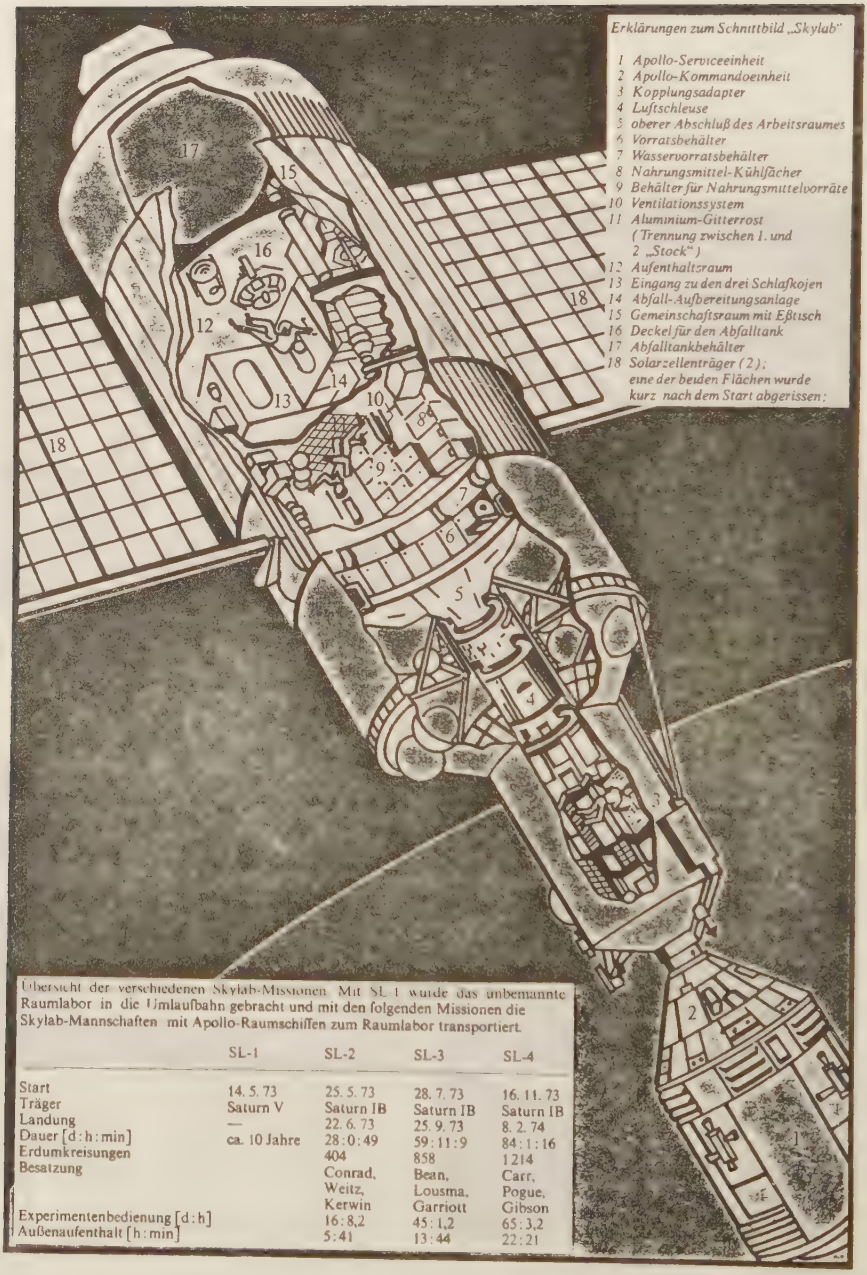


Bild 1 Blick in das Innere der Kabine des Raumschiffes Woschod.

Bild 2 A. A. Leonow stieg am 18. März 1965 als erster Mensch in den freien Weltraum aus.

Unterschiede der Kabinenatmosphären in sowjetischen und amerikanischen Raumschiffen

	amerikanische Raumschiffe	sowjetische Raumschiffe
Atmosphäre	ca. 1/3 Atmosphärendruck (damit die Besatzung genügend Sauerstoff zum Atmen erhält, erfordert dies eine überwiegende bzw. reine Sauerstoffatmosphäre)	1 Atmosphärendruck (Zweigasgemisch O_2/N_2)
Vorteile:	Kapsel muß nur auf einen geringeren Innendruck ausgelegt werden, also Gewichtsersparnis; keine Stickstoff-Druckflaschen (weitere Gewichtsersparnis); geringe Druckdifferenz bei Ausstiegen während des Fluges	gewohnte Atmosphäre für die Besatzung; keine Brandgefahr
Nachteile:	Brandgefahr, vor allem während der ersten Flugphase bei noch relativ hohem Außendruck (Apollo-Kapselbrand auf der Erde!); die Unterhaltung der Besatzungsmitglieder untereinander ist wegen des geringen Druckes erschwert	schwerere Konstruktion; erfordert gute Abdichtung; erhöhter Aufwand bei Ausstiegen und bei Kopplungen mit anderen Raumschiffen (z. B. Apollo-Sojus)



Erklärungen zum Schnittbild „Skylab"

1 Apollo-Serviceeinheit
2 Apollo-Kommandoeinheit
3 Kopplungsadapter
4 Luftschleuse
5 oberer Abschluß des Arbeitsraumes
6 Vorratsbehälter
7 Wasservorratsbehälter
8 Nahrungsmittel-Kühlfächer
9 Behälter für Nahrungsmittelvorräte
10 Ventilationssystem
11 Aluminium-Gitterrost (Trennung zwischen 1. und 2. „Stock")
12 Aufenthaltsraum
13 Eingang zu den drei Schlafkojen
14 Abfall-Aufbereitungsanlage
15 Gemeinschaftsraum mit Eßtisch
16 Deckel für den Abfalltank
17 Abfalltankbehälter
18 Solarzellenträger (2); eine der beiden Flächen wurde kurz nach dem Start abgerissen;

Übersicht der verschiedenen Skylab-Missionen. Mit SL-1 wurde das unbemannte Raumlabor in die Umlaufbahn gebracht und mit den folgenden Missionen die Skylab-Mannschaften mit Apollo-Raumschiffen zum Raumlabor transportiert.

	SL-1	SL-2	SL-3	SL-4
Start	14. 5. 73	25. 5. 73	28. 7. 73	16. 11. 73
Träger	Saturn V	Saturn IB	Saturn IB	Saturn IB
Landung	—	22. 6. 73	25. 9. 73	8. 2. 74
Dauer [d:h:min]	ca. 10 Jahre	28:0:49	59:11:9	84:1:16
Erdumkreisungen		404	858	1214
Besatzung		Conrad, Weitz, Kerwin	Bean, Lousma, Garriott	Carr, Pogue, Gibson
Experimentenbedienung [d:h]		16:8,2	45:1,2	65:3,2
Außenaufenthalt [h:min]		5:41	13:44	22:21

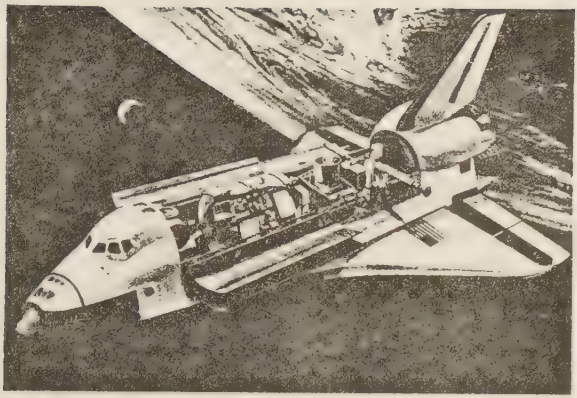


Bild 1 Zeichnung des Raumtransporters bei geöffneten Laderaumtoren mit dem Spacelab (teilweise aufgeschnitten) als Nutzlast.

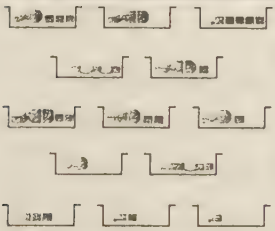


Bild 2 Die 13 möglichen Spacelab-Varianten entstehen durch die unterschiedliche Anordnung von Drucksegmenten und Paletten.

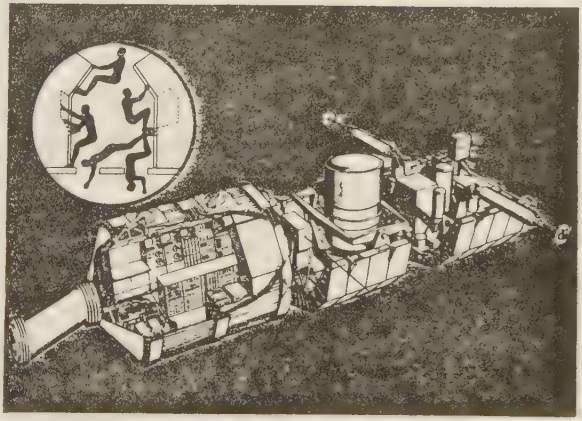


Bild 3 Strukturzeichnung des Weltraumlabors mit Darstellung der vielfältigen menschlichen Bewegungsmöglichkeiten unter Schwerelosigkeit. Links der Verbindungstunnel zum Orbiter, durch den die Nutzlastexperten vom Cockpit in das Raumlabor gelangen können.

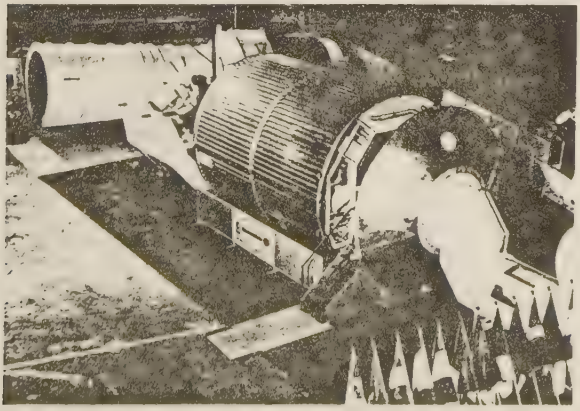


Bild 4 Originalgroßes Holzmodell des Spacelab (Soft-Mockup) auf der Raumfahrtausstellung der NASA im Kennedy Space Center anläßlich der 200-Jahr-Feier der USA

LEBENSLAUF

Am 24. Januar 1950 wurde ich als Sohn des praktischen Arztes Dr.med. Hans Wiechert und seiner Frau Lydia, geb. Schneider, in Rosenheim geboren.

Von 1956-1962 besuchte ich die Volksschule in Rosenheim. 1962 trat ich in die erste Klasse des Ignaz-Günter-Gymnasiums Rosenheim ein, besuchte den neusprachlichen Zweig und bestand 1971 mein Abitur.
Im Oktober 1971 inscribierte ich mich an der Naturwissenschaftlichen Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München und bekam im Herbst 1975 meine Zulassung zum Studium der Humanmedizin.

Im Herbst 1976 bestand ich mein Physikum, im Herbst 1977 den ersten Teil des Staatsexamens.
Den zweiten Teil des Staatsexamens absolvierte ich im August 1979 mit Erfolg.